

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GIACOMO GUSTAVO WOSNIACKI

**EXPOSIÇÃO AO RUÍDO FERROVIÁRIO E PLANEJAMENTO ACÚSTICO: UM
ESTUDO DE CASO NO SUL DO BRASIL**

CURITIBA

2017

GIACOMO GUSTAVO WOSNIACKI

**EXPOSIÇÃO AO RUÍDO FERROVIÁRIO E PLANEJAMENTO ACÚSTICO: UM
ESTUDO DE CASO NO SUL DO BRASIL**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial, no Curso de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Henrique Trombetta Zannin

CURITIBA
2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELO SISTEMA DE BIBLIOTECAS/UFPR
BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

620.23

Wosniacki, Giacomo Gustavo

Exposição ao ruído ferroviário e planejamento acústico: um estudo de caso no sul do Brasil / Giacomo Gustavo Wosniacki. – Curitiba, 2017.

166 f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, 2017.

Orientador: Paulo Henrique Trombetta Zannin.

1. Ruído ambiental. 2. Ruído ferroviário. 3. Medições de ruído. 4. Mapeamento acústico.
5. Planejamento acústico. I. Universidade Federal do Paraná. II. Zannin, Paulo Henrique Trombetta.
III. Título.

CDD: 620.23

Bibliotecária: Romilda Santos - CRB-9/1214



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor TECNOLOGIA
Programa de Pós-Graduação MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em MEIO AMBIENTE URBANO E INDUSTRIAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **GIACOMO GUSTAVO WOSNIAÇKI** intitulada: **EXPOSIÇÃO AO RUÍDO FERROVIÁRIO E PLANEJAMENTO ACÚSTICO: UM ESTUDO DE CASO NO SUL DO BRASIL**, após terem inquirido o aluno e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Curitiba, 28 de Setembro de 2017.

PAULO HENRIQUE TROMBETTA ZANNIN
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

BANI SZEREMETA
Avaliador Externo (IFPR)

ALVARO LUIZ MATHIAS
Avaliador Interno (UFPR)

À família e amigos.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a Deus, aos meus pais, Andrea Pietrobelli Wosniacki e Mauro Cesar Wosniacki, e aos meus irmãos, Gabriel Nathan Wosniacki e Mariana Wosniacki, pela vida, saúde, amor e suporte irrestritos.

Ao Professor Doutor Paulo Henrique Trombetta Zannin, pela amizade, paciência, confiança e orientação precisa, que garantiram êxito na pesquisa desenvolvida.

Aos meus amigos de colégio, da graduação, de pós-graduação e demais amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para o desenvolvimento do trabalho e/ou compreenderam inquietações e ausências durante toda esta etapa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial da UFPR por toda sua dedicação e por todo o conhecimento transmitido.

Às amigas da trajetória profissional, Daniela Diniz de Almeida, Flavia Veronesi Deboni e Maibi Tisian, pelo incentivo ao ingresso no programa de pós-graduação.

À empresa de consultoria ambiental em que trabalho, Cia Ambiental, pelo apoio por meio de confiança e compreensão quanto aos ajustes necessários para a conciliação de trabalho e estudos, bem como por meio do empréstimo dos equipamentos e softwares de acústica necessários ao desenvolvimento da pesquisa.

À operadora ferroviária Rumo, pelo apoio por meio da disponibilização de informações operacionais muito úteis à pesquisa, bem como pelo incentivo e confiança, na relação de parceria envolvendo a Cia Ambiental, de que as soluções de acústica no transporte ferroviário, ainda esparsas no Brasil, serão bem-sucedidas se devidamente planejadas com base no conhecimento, pesquisa e amadurecimento das avaliações.

RESUMO

Em todo o mundo as ferrovias são apontadas, após o tráfego rodoviário, como segunda principal fonte de ruídos e, por este motivo, há uma crescente pressão às operadoras ferroviárias em prol da redução de ruídos. O presente estudo refere-se à avaliação, num estudo de caso na ferrovia do Sul do Brasil, em Ponta Grossa, Estado do Paraná, do ruído gerado pelo tráfego ferroviário, bem como da exposição de residentes a níveis sonoros na condição atual e em diferentes cenários para planejamento acústico. A metodologia se baseou em três pilares: o conhecimento da fonte sonora, como o volume de tráfego ferroviário e características dos trens de carga; medições de níveis do som residual, de eventos de passagem de trens, incluindo análise da contribuição de fontes baseada na energia, e de acionamento de buzina; e mapeamentos acústicos estratégicos para representação da situação atual e predição de cinco estratégias para redução do ruído. Foram obtidos resultados de caracterização da fonte que revelam diminuição na quantidade de trens e modernização da frota de locomotivas. Os níveis sonoros medidos em eventos de 20 passagens de trens apresentaram variação superior a 10 dB(A). A análise baseada na fração de energia revelou grande variabilidade de contribuições, com predomínio da locomotiva, mas parcelas também elevadas do acionamento de buzina, de vagões e da interação roda-trilho. Mapas acústicos estratégicos foram calibrados com resultados de medições e apresentaram boa acurácia, com incerteza esperada inferior ao valor recomendado de 4,6 dB(A). Mesmo na ausência de ruído ferroviário, a quase totalidade de residentes está sujeita a distúrbios do sono e parte do total de residentes está exposta a níveis sonoros acima dos valores recomendados ou de limiares para planos de ação. O mapeamento acústico revelou que as maiores reduções de ruído se dariam mediante construção de um contorno ferroviário e eliminação da necessidade de uso da buzina. Otimizações operacionais e instalação de barreiras acústicas de 4,5 metros apresentam reduções da exposição ao ruído comparáveis na área de estudo, embora seja sabido que a primeira possa apresentar resultados de melhoria ao longo de trechos ferroviários de dezenas ou centenas quilômetros de extensão enquanto a segunda restringe-se à promoção de melhorias locais. Os resultados sugerem planejamento acústico para otimização operacional a curto prazo, acompanhada de monitoramento, e eliminação da necessidade do uso da buzina a médio prazo.

Palavras-chave: Ruído ambiental. Ruído ferroviário. Medições de ruído. Mapeamento acústico. Planejamento acústico.

ABSTRACT

Around the world, railroads are identified as the second main source of noise after road traffic, and for this reason there is growing pressure on rail operators to reduce noise. The present study refers to the evaluation, in a case study in the railroad of the South of Brazil, in Ponta Grossa, State of Paraná, of the noise generated by the railroad traffic, as well as of the exposure of residents to sound levels in the present condition and in different scenarios for acoustical planning. The methodology was based on three pillars: knowledge of the sound source, such as the volume of rail traffic and characteristics of the freight trains; measurements of residual sound levels, train passing events, including energy-based input contribution analysis, and horn triggering; and strategic acoustic mappings to represent the current situation and prediction of five strategies for noise reduction. Results of characterization of the source were obtained, which show a decrease in the number of trains and modernization of the locomotive fleet. The noise levels measured in events of 20 train passages presented variation greater than 10 dB (A). The analysis based on the energy fraction revealed a great variability of contributions, with predominance of the locomotive, but also high pitches of the horn, wagon drive and wheel-rail interaction. Strategic noise maps were calibrated with measurement results and presented good accuracy, with expected uncertainty lower than the recommended value of 4.6 dB (A). Even in the absence of rail noise, almost all residents are subject to sleep disturbances and part of the total of residents is exposed to noise levels above recommended values or thresholds for action plans. The acoustic mapping revealed that the greatest noise reductions would be achieved by constructing a railway variant and eliminating the need for horn activation. Operational enhancements and installation of noise barriers of 4.5 meters have comparable noise exposure reductions in the study area, although it is known that the first can present improvement in results along railway stretches of tens or hundreds of kilometers while the second is limited to the promotion of local improvements. The results suggest acoustical planning for short-term operational enhancements, followed by monitoring, and elimination of the need for horn activation in the medium term.

Keywords: Environmental noise. Railway noise. Noise measurements. Noise mapping. Acoustical planning.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – SOM TOTAL (1), TRÊS SONS ESPECÍFICOS EM CONSIDERAÇÃO, A (2), B (3) E C (4), E O SOM RESIDUAL (5).	26
FIGURA 2 – SOM TOTAL (1), DOIS SONS ESPECÍFICOS EM CONSIDERAÇÃO, A (2) E B (3) E O SOM RESIDUAL (5), QUE INCLUI O SOM ESPECÍFICO C (4).	26
FIGURA 3 – SOM TOTAL (1), SOM ESPECÍFICO A (2) EM CONSIDERAÇÃO, SOM INTRUSIVO B (3) E O SOM RESIDUAL (5), QUE INCLUI O SOM ESPECÍFICO C (4).	27
FIGURA 4 – EXEMPLO DE RUÍDO REPRESENTADO EM BANDA DE OITAVA....	28
FIGURA 5 – RUÍDO DA FIGURA 4 REPRESENTADO EM BANDA DE 1/3 DE OITAVA.	29
FIGURA 6 – CURVAS DE PONDERAÇÃO A E C.	30
FIGURA 7 – EXEMPLO DE RUÍDO DA FIGURA 4 PONDERADO EM A.	31
FIGURA 8 – RELAÇÃO ENTRE PRESSÃO SONORA E NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.	33
FIGURA 9 – O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NO INTERVALO T.	34
FIGURA 10 – NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE E INDICADORES ESTATÍSTICOS NO INTERVALO T PARA UMA AMOSTRA DE SOM INTERMITENTE.	35
FIGURA 11 – LOCOMOTIVAS ES43BBI.	41
FIGURA 12 – TRIPLA DE LOCOMOTIVAS (G22UB, UG-M1 E G22UB), COM DETALHE DA UG-M1.	42
FIGURA 13 – PERCENTUAL DE ALTAMENTE INCOMODADOS POS SONS DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO EM FUNÇÃO DO NÍVEL SONORO DIA-NOITE PONDERADO EM “A”.	45
FIGURA 14 – RELAÇÕES DOSE- EFEITO DE RESIDENTES ALTAMENTE INCOMODADOS EM FUNÇÃO DO NÍVEL SONORO DIA-ENTARDECER-NOITE, PARA RUÍDOS DE RODOVIA E DE FERROVIA.	45
FIGURA 15 – NÍVEIS SONOROS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE UMA MEDIÇÃO DE PERÍODO COMPLETO DE RUÍDO DE TREM NA RESIDÊNCIA NA CASA DE UM RESIDENTE.	47

FIGURA 16 - MAPEAMENTO ACÚSTICO – TODOS OS PONTOS DO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.	56
FIGURA 17 – MAPEAMENTO ACÚSTICO COM TREM BUZINANDO (1 E 2) E SEM ACIONAR BUZINA (3 E 4).	57
FIGURA 18 – MAPAS ACÚSTICOS DAS FACHADAS DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT E DA ESCOLA ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIOS SEM BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E COM BARREIRA (3 E 4).	58
FIGURA 19 – METODOLOGIA APLICADA.....	59
FIGURA 20 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.	60
FIGURA 21 – PONTOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS E SETORES CENSITÁRIOS QUE PERFAZEM A ÁREA DE ESTUDO PARA MAPEAMENTOS ACÚSTICOS.	62
FIGURA 22 – ANALISADOR SONORO E CALIBRADOR ACÚSTICO UTILIZADOS.	64
FIGURA 23 – SOFTWARE DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS UTILIZADO (DBTRAIT).....	64
FIGURA 24 – INTERVALO DE TEMPO DE INTEGRAÇÃO DA I-ÉSIMA PASSAGEM DE TREM DE CARGA.	66
FIGURA 25 – MEDIÇÕES DO SOM ESPECÍFICO DA PASSAGEM DE TRENS DE CARGA NO M01.	67
FIGURA 26 – MEDIÇÕES DO SOM RESIDUAL NO M02.	67
FIGURA 27 - CERTIFICADO DE LICENÇA DO MODELO DE PROPAGAÇÃO ACÚSTICA CADNAA.	69
FIGURA 28 – MURO AOS FUNDOS DO CONJUNTO HABITACIONAL QUE ATUALMENTE JÁ SE CONFIGURA COMO BARREIRA FÍSICA DE 3 METROS DE ALTURA.	72
FIGURA 29 – ILUSTRAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO CENÁRIO SOM RESIDUAL..	73
FIGURA 30 – DETALHE DO MURO AOS FUNDOS DO CONJUNTO MONTEIRO LOBATO.....	73
FIGURA 31 - DETALHE DA FERROVIA E DO RECEPTOR M01 NO CENÁRIO DO SOM TOTAL.....	74
FIGURA 32 - DETALHE DA FERROVIA, DA FONTE LINEAR SOBRE ELA E DO RECEPTOR M02 NO CENÁRIO DO SOM TOTAL.....	75

FIGURA 33 - DETALHE DAS BARREIRAS ACÚSTICAS (PORÇÃO OESTE DA ÁREA DE ESTUDO).	76
FIGURA 34 - DETALHE DAS BARREIRAS ACÚSTICAS (PORÇÃO LESTE DA ÁREA DE ESTUDO).	76
FIGURA 35 – LOCOMOTIVAS MODELO DASH 9-40BBW.	82
FIGURA 36 – LOCOMOTIVAS MODELO ES43BBI.	82
FIGURA 37 – LOCOMOTIVAS MODELO SD40.	82
FIGURA 38 – VAGÕES HFD (À ESQUERDA) E FHD (À DIREITA).	84
FIGURA 39 - LAEQ DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DE RUÍDO FERROVIÁRIO.	85
FIGURA 40 - INDICADORES ESTATÍSTICOS DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DO RUÍDO FERROVIÁRIO.	87
FIGURA 41 – FRAÇÕES DE ENERGIA DE CONTRIBUIÇÕES PARCIAIS AO LAEQ GLOBAL DE MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.	89
FIGURA 42 – COMPARATIVO DOS RESULTADOS GLOBAIS E TRATADOS DE LAEQ DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS, COM ELIMINAÇÃO DA BUZINA.	91
FIGURA 43 – COMPARATIVO DOS RESULTADOS GLOBAIS E TRATADOS DE NÍVEIS MÁXIMOS DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS, COM ELIMINAÇÃO DA BUZINA.	91
FIGURA 44 – FRAÇÕES DE ENERGIA DE CONTRIBUIÇÕES PARCIAIS AO LAEQ GLOBAL DE MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS (ELIMINADA A BUZINA).	93
FIGURA 45 – LAEQ,1S AO LONGO DE UM EVENTO DE PASSAGEM DE TREM COM DESTAQUE AO INTERVALO DE TEMPO DE INTEGRAÇÃO DO SOM ESPECÍFICO DA BUZINA.	94
FIGURA 46 – REGISTRO DO INSTANTE DO NÍVEL MÁXIMO DURANTE MEDIÇÃO DO EVENTO DE ACIONAMENTO DE BUZINA.	94
FIGURA 47 – MAPA ACÚSTICO DO L_D DO SOM RESIDUAL.	98
FIGURA 48 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_D DO SOM RESIDUAL.	98
FIGURA 49 – MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM RESIDUAL.	99
FIGURA 50 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM RESIDUAL.	99

FIGURA 51 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM RESIDUAL.....	100
FIGURA 52 – PERSPECTIVA 3D DO L_N DO SOM RESIDUAL.....	100
FIGURA 53 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM RESIDUAL.....	101
FIGURA 54 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM RESIDUAL.	101
FIGURA 55 – MAPA ACÚSTICO DO L_D DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	104
FIGURA 56 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_D DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	104
FIGURA 57 – MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	105
FIGURA 58 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	105
FIGURA 59 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	106
FIGURA 60 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	106
FIGURA 61 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	107
FIGURA 62 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.....	107
FIGURA 63 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.....	109
FIGURA 64 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.	109
FIGURA 65 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.....	110
FIGURA 66 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.	110
FIGURA 67 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.	111

FIGURA 68 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.	111
FIGURA 69 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.	112
FIGURA 70 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.	112
FIGURA 71 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.	113
FIGURA 72 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.	113
FIGURA 73 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.	114
FIGURA 74 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.	114
FIGURA 75 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.	115
FIGURA 76 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.	115
FIGURA 77 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.	116
FIGURA 78 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.	116
FIGURA 79 – RESIDENTES EXPOSTOS A L_N INFERIORES OU SUPERIORES A 55 DB(A).	119
FIGURA 80 – RESIDENTES EXPOSTOS A L_{DEN} INFERIORES OU SUPERIORES 55 DB(A).	119
FIGURA 81 – ESTIMATIVAS DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO PARA CADA CENÁRIO DE PLANEJAMENTO ACÚSTICO.	120

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CORREÇÕES DO FILTRO DE PONDERAÇÃO EM A.	30
TABELA 2 – EXEMPLO DE PONDERAÇÃO EM A DO RUÍDO DA FIGURA 4.....	30
TABELA 3 – LEVANTAMENTO DA FROTA DE LOCOMOTIVAS DA PRINCIPAL OPERADORA FERROVIÁRIA DO SUL DO BRASIL (BITOLA MÉTRICA).....	40
TABELA 4 – %I %AI EM FUNÇÃO DE VÁRIOS NÍVEIS SONOROS DIA- ENTARDECER-NOITE PARA RUÍDOS AEROVIÁRIOS E DE TRÁFEGOS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO.	46
TABELA 5 – CONTRIBUIÇÕES DE RUÍDO PARA UMA LOCOMOTIVA DIESEL ELÉTRICA DE 3000 HP EM CONDIÇÕES DE PLENA CARGA.....	50
TABELA 6 – RESUMO DOS DADOS OBTIDOS COM O RUÍDO DO TREM E O RUÍDO TOTAL NO SITE A E SITE B.....	51
TABELA 7 – RESUMO DOS DADOS COM O RUÍDO DA CIDADE (SOM RESIDUAL).	51
TABELA 8 – NÍVEIS DE RUÍDO FERROVIÁRIO MEDIDOS EM KLAIPEDA, LITUÂNIA.	53
TABELA 9 – COMPARAÇÕES ENTRE VELOCIDADE, NÍVEL DE RUÍDO EQUIVALENTE E NÍVEL DE RUÍDO MÁXIMO DURANTE OS PERÍODOS DIURNO E NOTURNO NA ESTAÇÃO FERROVIÁRIA KLAIPEDA.	54
TABELA 10 – RESUMO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE COLETADOS EM CAMPO.....	54
TABELA 11 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.....	56
TABELA 12 – REDUÇÃO DE NÍVEIS DE RUÍDO SEM O ACIONAMENTO DE BUZINA.	57
TABELA 13 – REDUÇÃO DE NÍVEIS DE RUÍDO MEDIANTE CONSTRUÇÃO DE UMA BARREIRA ACÚSTICA.....	57
TABELA 14 – DETALHES FÍSICOS E OPERACIONAIS DO SEGMENTO ENTRE PÁTIOS LUS-LAP.	60
TABELA 15 – PONTOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS.....	61
TABELA 16 – PONTOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS.....	61
TABELA 17 – DETALHES DOS SETORES CENSITÁRIOS QUE COMPÕEM A ÁREA DE ESTUDO.	62

TABELA 18 – NÚMEROS E TIPOS DE MEDIÇÕES EM CADA PONTO.	67
TABELA 19 – TIPOS DE CLASSES DE TRENS E NÚMEROS DE VEÍCULOS NO CENÁRIO DO SOM TOTAL, COM RUÍDO FERROVIÁRIO.....	74
TABELA 20 – TIPOS DE CLASSES DE TRENS E NÚMEROS DE VEÍCULOS NO CENÁRIO DE OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.	77
TABELA 21 – QUANTIDADES ANUAIS DE TRENS, MÉDIAS DIÁRIAS ANUAIS E PARTIÇÃO POR PERÍODOS.	79
TABELA 22 – LOCOMOTIVAS REGISTRADAS EM CADA PASSAGEM E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.	80
TABELA 23 – RESUMO QUANTITATIVO DE LOCOMOTIVAS REGISTRADAS DURANTE AS 20 MEDIÇÕES DE NÍVEIS DE RUÍDO DE PASSAGENS DE TRENS.	81
TABELA 24 – VAGÕES REGISTRADOS EM CADA PASSAGEM DE TREM, POR CLASSES.....	83
TABELA 25 – VAGÕES REGISTRADOS EM CADA PASSAGEM DE TREM, POR MODELOS.	84
TABELA 26 – LAEQ DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DO RUÍDO FERROVIÁRIO.....	85
TABELA 27 – INDICADORES ESTATÍSTICOS DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DO RUÍDO FERROVIÁRIO.....	87
TABELA 28 – RESULTADOS GLOBAIS DE LAEQ E NÍVEIS MÁXIMOS DAS MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.	88
TABELA 29 – RESULTADOS TRATADOS, COM ELIMINAÇÃO DE RUÍDOS DE BUZINA, DE LAEQ E DE NÍVEIS MÁXIMOS DE MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.	92
TABELA 30 – RESULTADO DO LAEQ E NÍVEL MÁXIMO DAS MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.	93
TABELA 31 – LDEN DO SOM RESIDUAL NOS RECEPTORES M01 E M02.	95
TABELA 32 – LDEN DO SOM TOTAL, COM RUÍDO FERROVIÁRIO, NOS RECEPTORES M01 E M02.	95
TABELA 33 – LDEN DO SOM TOTAL, COM RUÍDO FERROVIÁRIO E OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL, NOS RECEPTORES M01 E M02.....	96
TABELA 34 – RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO NOS RECEPTORES M01 E M02.	96

TABELA 35 – ESTIMATIVA DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO AO SOM RESIDUAL.	97
TABELA 36 – RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO NOS RECEPTORES M01 E M02.	102
TABELA 37 – ESTIMATIVA DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO AO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.	102
TABELA 38 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR ELIMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE ACIONAMENTO DA BUZINA.	117
TABELA 39 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR INSTALAÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.	117
TABELA 40 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR INSTALAÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.	118
TABELA 41 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR MEIO DE OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.	118
TABELA 42 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO PELA CONSTRUÇÃO DE UM CONTORNO FERROVIÁRIO HIPOTÉTICO.	118

LISTA DE SIGLAS

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	- Agência Nacional de Transportes Terrestres
CNEL	- Community Noise Equivalent Level
CNT	- Confederação Nacional dos Transportes
DIN	- Deutsches Institut für Normung
EEA	- European Environment Agency
END	- Environmental Noise Directive
EU	- European Union
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IEC	- International Electrotechnical Commission
IPLAN	- Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Ponta Grossa
ISO	- International Organization for Standardization
NBR	- Norma Brasileira
OMS	- Organização Mundial da Saúde
TU	- Tonelada útil
WG-AEN	- European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise
WHO	- World Health Organization

LISTA DE SÍMBOLOS

dB	- decibel
Hz	- hertz
Pa	- pascal
A	- ponderação em A
F	- <i>fast</i>
i	- i-ésima medição de níveis sonoros
j	- j-ésimo som
k	- k-ésima janela de condições de medição
n	- número de sons combinados
N_m	- número de medições de níveis sonoros
p	- pressão sonora
$p(t)$	- pressão sonora no t
p_0	- pressão sonora de referência (20 μPa)
t	- tempo instantâneo
T	- intervalo de tempo de integração, de t_1 a t_2
T_i	- intervalo de tempo de integração da i-ésima medição
T_{nj}	- subdivisões do intervalo T para cada som j
L_p	- nível de pressão sonora
L_{eq}	- nível de pressão sonora contínuo equivalente
L_{Aeq}	- L_{eq} ponderado em A
$L_{\text{Aeq},T}$	- L_{Aeq} durante o T
$L_{\text{Aeq},T_{nj}}$	- L_{Aeq} do j-ésimo som durante o T_{nj}
L_i	- L_{Aeq,T_i} da i-ésima medição
L_k	- L_{Aeq} médio de N_m medições de L_i na k-ésima janela de condições
L_{Amax}	- L_p máximo ponderado em A
L_{Amin}	- L_p mínimo ponderado em A
$L_{N,T}$	- nível de pressão sonora que é excedido N % durante o intervalo T
L_d	- nível sonoro dia
L_e	- nível sonoro entardecer
L_n	- nível sonoro noite

L_{den} - nível sonoro dia-entardecer-noite

L_{dn} - nível sonoro dia-noite

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	21
1.1	OBJETIVOS	24
1.1.1	Objetivo geral	24
1.1.2	Objetivos específicos.....	24
2	TERMOS E DEFINIÇÕES EM ACÚSTICA	25
2.1	SOM E RUÍDO.....	25
2.1.1	Sons total, específico, residual e intrusivo.....	25
2.1.2	Sons impulsivo, intermitente, contínuo e flutuante	27
2.2	NÍVEL SONORO E O DECIBEL	27
2.3	FREQUÊNCIAS.....	28
2.4	PONDERAÇÃO EM A	29
2.5	PONDERAÇÃO TEMPORAL	31
2.6	QUANTIFICAÇÃO SONORA.....	32
2.6.1	Nível de pressão sonora.....	32
2.6.2	Nível de pressão sonora contínuo equivalente	33
2.6.3	Indicadores estatísticos	34
2.6.4	Níveis máximo e mínimo	35
2.6.5	Média logarítmica da janela de condições de medição	35
2.6.6	Sons combinados num período completo.....	36
2.6.7	Níveis sonoros de períodos completos.....	36
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	38
3.1	MATERIAL RODANTE	38
3.2	RUÍDO AMBIENTAL, EFEITOS À SAÚDE E ANÁLISES	43
3.3	RUÍDO FERROVIÁRIO E AVALIAÇÕES POR MEDIÇÕES.....	49
3.3.1	Ruídos gerados pelo tráfego ferroviário.....	49
3.3.2	Medição e avaliação do ruído ferroviário	51
3.4	MAPEAMENTO ACÚSTICO E PLANEJAMENTO ACÚSTICO	54
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	59
4.1	DENSIDADE DE TRÁFEGO E MATERIAL RODANTE.....	63
4.2	MEDIÇÕES DE NÍVEIS SONOROS E TRATAMENTO DE DADOS	63
4.2.1	Equipamentos para medições e tratamento de resultados.....	63
4.2.2	Condições de medição	64

4.2.3	Tratamento de resultados	67
4.3	MAPEAMENTO ACÚSTICO	69
4.3.1	Métodos de cálculo e dados para predição	69
4.3.2	Cenários de mapeamento acústico	70
4.3.3	Apresentação de resultados	77
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
5.1	DENSIDADE DE TRÁFEGO E MATERIAL RODANTE	79
5.1.1	Densidade de tráfego no segmento entre pátios LUS-LPJ	79
5.1.2	Material rodante registrado nas passagens de trens de carga	80
5.2	NÍVEIS SONOROS MEDIDOS E TRATADOS	85
5.2.1	Som residual	85
5.2.2	Som específico de eventos de passagens de trens de carga	88
5.2.3	Som específico de evento de acionamento de buzina de trem de carga	93
5.2.4	<i>L</i> _{den} do som residual	95
5.2.5	<i>L</i> _{den} do som total, com ruído ferroviário	95
5.3	MAPAS ACÚSTICOS ESTRATÉGICOS E EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO	96
5.3.1	Diagnóstico	96
5.3.2	Planejamento acústico	108
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	123
	REFERÊNCIAS	126
	APÊNDICE A – INDICADORES E HISTÓRICOS NO TEMPO DAS MEDIÇÕES DE NÍVEIS DE RUÍDO SEM PASSAGEM DE COMPOSIÇÕES FERROVIÁRIAS.....	132
	APÊNDICE B – INDICADORES E HISTÓRICOS NO TEMPO DAS MEDIÇÕES DE NÍVEIS DE RUÍDO DE PASSAGEM DE COMPOSIÇÕES FERROVIÁRIAS.....	135
	ANEXO 1 – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DO SONÔMETRO E CALIBRADOR ACÚSTICO UTILIZADOS	156

1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), ruídos podem afetar o trabalho humano, descanso, sono e comunicação, além de poder causar dano à audição e poder evocar outras reações psicológicas, fisiológicas e patológicas (WHO, 1980).

O setor de transporte é a principal fonte da poluição sonora ambiental, incluindo tráfego rodoviário, ferroviário e aeroviário (BERGLUND et al., 1999). Trata-se de uma afirmação amplamente ratificada por resultados de estudos realizados em cidades de todo o mundo, inclusive no Brasil, ao longo das duas últimas décadas, sobretudo quanto à observação comum acerca do ruído do tráfego rodoviário ser a principal fonte de poluição sonora (ARANA e GARCIA, 1998; ZANNIN et al., 2002; MORILLAS et al., 2002; SOMMERHOFF et al., 2004; PICCOLO et al., 2005; PATHAK et al., 2008; MURPHY et al., 2009; ZUO et al., 2014).

Neste mesmo período, os Estados-membros da União Europeia foram requeridos, a partir da adoção da Diretiva 2002/49/EC (EU, 2002a)¹, a informar valores limites para diferentes fontes de ruídos, expressos em termos dos indicadores de períodos completos nível sonoro dia-entardecer-noite (L_{den}) e nível sonoro noite (L_n), e a avaliar, em duas fases quinquenais de reporte (2007 e 2012), a exposição da população ao ruído por meio de mapas acústicos estratégicos das principais cidades, rodovias, ferrovias e aeroportos da Europa.

Inicialmente apresentadas no relatório *Noise in Europe 2014* da *European Environmental Agency* (EEA, 2014) e atualizadas com dados adicionais reportados pelos países ainda para o ano 2012, as estimativas de exposição ao ruído são consonantes com as conclusões de pesquisas anteriores, tendo o tráfego rodoviário como maior fonte de poluição sonora na Europa.

Por volta de 100 milhões de pessoas estão expostas a L_{den} superior a 55 dB(A)², das quais 32 milhões estão expostas a L_{den} acima de 65 dB(A) gerados pelo tráfego rodoviário. Logo atrás, como segunda fonte mais relevante de ruído ambiental naquele continente, estão as ferrovias, com estimativa de quase 19 milhões de pessoas expostas a L_{den} superior a 55 dB(A) gerados pelo tráfego ferroviário. O ruído

¹*Environmental Noise Directive* (END), que definiu uma abordagem comum de avaliação para prevenir ou reduzir, mediante priorização, efeitos prejudiciais decorrentes da exposição ao ruído ambiental.

² L_{den} de 55 dB(A) é o limiar estabelecido pela END para mapeamento acústico e planos de ação.

aeroviário, com mais de 4,1 milhões de pessoas expostas a L_{den} acima de 55 dB(A) é a terceira principal fonte, seguida do ruído industrial em áreas urbanas, com aproximadamente 1 milhão de pessoas expostas (EEA, 2017).

King e Murphy (2016), em ocasião anterior à atualização dos resultados pela EEA, discorreram sobre o estado deste mapeamento acústico ao longo dos últimos 15 anos na Europa. Reafirmaram que, em geral, a END possibilitou avanços na abordagem da poluição sonora no continente Europeu e introduziu um sistema de gerenciamento para o ruído ambiental em todos os Estados-membros (EC, 2011), além de ter estimulado a pesquisa sobre avaliações da poluição sonora.

Ao mesmo tempo, identificaram necessidades para fases futuras, tais como maior controle de qualidade dos dados e disponibilização de informações completas pelos Estados-membros, a fim de que seja possível uma avaliação baseada em evidências sobre a exposição ao ruído estar diminuindo ou aumentando na Europa e que o objetivo primário da END seja atingido (KING e MURPHY, 2016).

Paralelamente, há 20 anos o Brasil iniciou um processo de concessões à iniciativa privada que incluiu os seus quase 30.000 km de ferrovias de cargas, até então estagnadas por um longo período. Desde o início das concessões os volumes transportados foram ampliados significativamente em 98,8 % de 1997 a 2016 segundo a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF, 2017).

Como consequência, observou-se um aumento da circulação de trens em ferrovias construídas há décadas ou até centenárias, ao redor das quais as cidades cresceram muito próximas. Assim como afirma Vos (2016) que ocorreu na Europa nos últimos anos, também no Brasil houve intensificação do olhar nos efeitos do ruído em residentes expostos, bem como uma crescente pressão às operadoras ferroviárias em prol da redução de ruídos.

Ao contrário da experiência europeia, em que já estão sendo discutidas melhorias metodológicas para avaliação da exposição a ruídos, no Brasil estudos mais aprofundados, incluindo o uso de mapeamento acústico, foram conduzidos apenas isoladamente pela pesquisa ou em processos de licenciamento ambiental de novos empreendimentos e não de maneira sistemática para todas as regiões.

Excetuados requisitos legais a fabricantes de máquinas, motores, equipamentos e dispositivos para que possuam menor potência sonora, o único ato normativo de abrangência nacional para avaliação e controle do ruído ambiental é a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 001/1990.

Vigente sem quaisquer alterações desde sua publicação, em abril de 1990, esta resolução é remissiva, quanto à metodologia de avaliação e a valores limites de níveis de ruídos, à Norma Brasileira (NBR) 10151 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2000), que não estabelece procedimentos específicos para medição e avaliação do impacto sonoro ambiental decorrente dos sistemas de transporte.

A inexistência de tais procedimentos, nesta ou em outras normas técnicas, foi uma das motivações da elaboração da NBR 16425, sob o título geral “*Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora proveniente de sistemas de transportes*”.

Com previsão de conter seis partes, já possui a Parte 1 (ABNT, 2016), que estabelece aspectos gerais para medição e avaliação de sons provenientes de sistemas de transportes (aeroviário, aquaviário, ferroviário, metroviário e rodoviário), incluindo descritores níveis sonoros para análise dentre os quais consta o nível sonoro dia-noite (L_{dn}), também representativo de um período de 24 h, como o L_{den} .

Dentre as demais, a Parte 4, referente ao sistema ferroviário, é a primeira que já possui Projeto de Norma elaborado e que se encontra submetido à Consulta Nacional quanto à aprovação do texto, a sugestões justificadas ou à não aprovação. Caso aprovado anteriormente a projetos das demais partes, a metodologia de medição e avaliação do ruído gerado pelo sistema ferroviário deve alavancar a obtenção de resultados comparáveis entre si, na pesquisa ou em monitoramentos mandatórios a serem executados pelas operadoras ferroviárias, em prol de planejamentos para redução da exposição aos ruídos.

Em vista disto, e considerando que, na prática, o projeto de solução para um problema sonoro complexo demanda conhecimento da fonte dominante do ruído e compreensão das características dos meios de transmissão frente a um nível permissível ou desejado naquela situação (BERANEK, 1971), o presente estudo é justificado pela necessidade de conhecimento aprofundado da geração de ruído ferroviário para propostas de medidas efetivas e possíveis.

Para tanto, por meio de um estudo de caso no município de Ponta Grossa, Estado do Paraná, Região Sul do Brasil, avalia a exposição ao ruído gerado pelo tráfego de trens de carga e propõe um planejamento acústico para sua redução baseado em resultados de medições e de mapeamentos acústicos estratégicos com descritores de períodos completos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar, numa área de estudo na cidade de Ponta Grossa, Estado do Paraná, Região Sul do Brasil, o ruído gerado pelo tráfego ferroviário, bem como a exposição de residentes a níveis sonoros na condição atual e em diferentes cenários para planejamento acústico.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- a) Caracterizar o material rodante (locomotivas e vagões) em operação na área de estudo;
- b) Analisar, na área de estudo, níveis sonoros do som residual, na ausência de ruído ferroviário, e níveis de eventos de passagens de trens de carga e do acionamento da buzina de um trem de carga;
- c) Representar, por meio de mapas acústicos estratégicos, o diagnóstico da situação atual e cinco cenários aventados para redução da exposição de residentes ao ruído;
- d) Estimar a população que seria beneficiada pelos diferentes cenários aventados para redução da exposição de residentes ao ruído, frente a valores recomendados e mediante comparação entre si, para proposta de um planejamento acústico.

2 TERMOS E DEFINIÇÕES EM ACÚSTICA

2.1 SOM E RUÍDO

O som é produzido pela vibração dos corpos ou de moléculas de ar e é transmitido como um movimento de onda longitudinal. É, então, uma forma de energia mecânica e é medido em unidades relacionadas a energia (WHO, 1980).

O som é parte da vida diária e apresenta-se, por exemplo, como música, canto dos pássaros, uma batida na porta, o tilintar do telefone, as ondas do mar, entre outros. Entretanto, na sociedade moderna muitos sons são desagradáveis e indesejáveis e esses são definidos como ruído (GERGES, 1992).

Segundo Harris (1979), ruído também pode ser definido como um som, geralmente de natureza aleatória, cujo espectro não exhibe distinção de componentes de frequência.

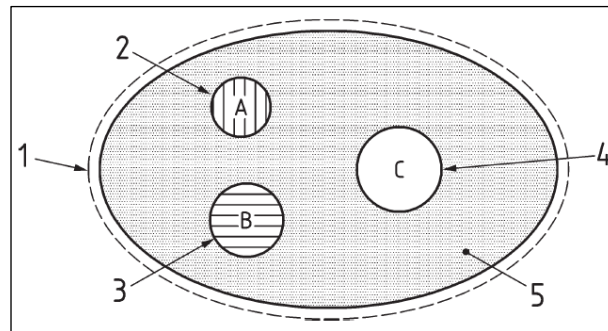
2.1.1 Sons total, específico, residual e intrusivo

De acordo com a ISO 1996-1 (ISO, 2016), som total é aquele completamente abrangente numa dada situação e instante, geralmente resultante de sons de muitas fontes próximas e distantes. Som específico, por sua vez, é a parcela do som total que pode ser identificada e que está associada a uma determinada fonte.

Já o termo som residual se refere àquele som remanescente do som total em uma dada posição e em uma dada situação quando se suprime(m) o(s) som(ns) em consideração.

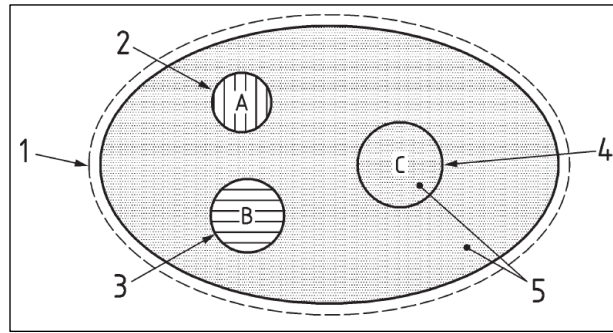
A seguir, a FIGURA 1 representa esquematicamente estas três diferentes designações do som, com um exemplo de três sons específicos em consideração, enquanto a FIGURA 2 as representa com um exemplo de apenas dois sons específicos em consideração, sendo o terceiro som específico componente do som residual.

FIGURA 1 – SOM TOTAL (1), TRÊS SONS ESPECÍFICOS EM CONSIDERAÇÃO, A (2), B (3) E C (4), E O SOM RESIDUAL (5).



FONTE: ISO (2016).

FIGURA 2 – SOM TOTAL (1), DOIS SONS ESPECÍFICOS EM CONSIDERAÇÃO, A (2) E B (3) E O SOM RESIDUAL (5), QUE INCLUI O SOM ESPECÍFICO C (4).

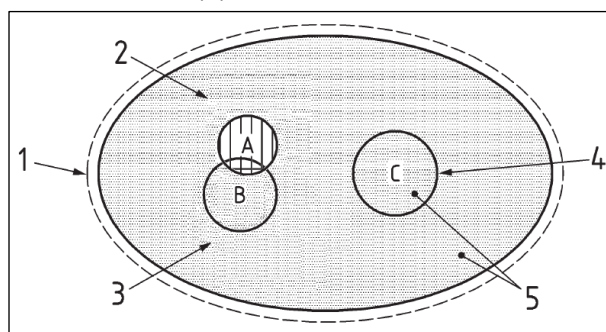


FONTE: ISO (2016).

Isto posto, a NBR 16313 (ABNT, 2014) define, ainda, como som intrusivo uma interferência sonora alheia ao objeto de medição. Relacionando com as demais designações do som, se trata de um som específico concomitante temporalmente com um som em consideração, prejudicando ou impossibilitando a dissociação de ambos e a avaliação deste segundo.

Como exemplo, a FIGURA 3 representa um som intrusivo B, que poderia ser aquele gerado pela passagem de uma motocicleta, sobre um som específico em consideração A, que poderia ser aquele gerado pela passagem de um trem.

FIGURA 3 – SOM TOTAL (1), SOM ESPECÍFICO A (2) EM CONSIDERAÇÃO, SOM INTRUSIVO B (3) E O SOM RESIDUAL (5), QUE INCLUI O SOM ESPECÍFICO C (4).



FONTE: Modificada de ISO (2016).

2.1.2 Sons impulsivo, intermitente, contínuo e flutuante

Som impulsivo é aquele caracterizado por breves impulsos de pressão sonora de duração inferior a 1 s, podendo ser produzido por impactos, tiros, estouros e outras fontes (ABNT, 2014).

O som intermitente é aquele presente num observador apenas durante certos períodos de tempo que ocorrem em intervalos de tempo regulares ou irregulares e cuja duração de cada ocorrência é maior do que 5 s, tal como o ruído do motor de veículos sob condições de pequeno volume de tráfego, do trem, o avião e do compressor de ar (ISO, 2016).

Por fim, o som contínuo é aquele presente durante todo o período de observação e que não é um som intermitente nem um som impulsivo (ABNT, 2014). Pode ser designado como um som flutuante se sua pressão sonora varia significativamente, mas não de uma maneira impulsiva, durante o período de observação e são exemplos de fontes sonoras contínuas transformadores, ventiladores e torres de resfriamento, podendo também o ruído do tráfego rodoviário ser considerado, dependendo da situação (ISO, 1996).

2.2 NÍVEL SONORO E O DECIBEL

Por definição, nível é o logaritmo da razão entre uma dada quantidade e uma quantidade de referência do mesmo tipo, sendo sua unidade expressa em decibel (HARRIS, 1979).

Nível sonoro, por sua vez, é a representação adimensional de uma grandeza sonora, como a pressão, potência ou intensidade, em escala logarítmica e expressa

em decibel (ABNT, 2014). Seu emprego em acústica se faz conveniente pela grande amplitude destas grandezas (HARRIS, 1979).

2.3 FREQUÊNCIAS

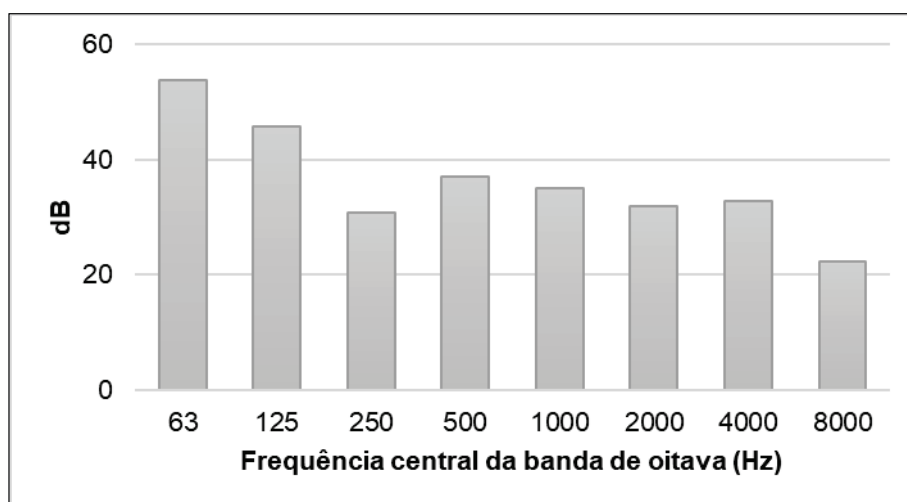
O ruído geralmente é composto por uma faixa de diferentes frequências e o ouvido humano pode detectar sons com cerca de 20 a até 20.000 Hz, sendo raramente de interesse ao estudo do ruído ambiental sons de frequências menores (infrassônica) ou maiores do que esta faixa (ultrassônicas).

Enquanto alguns estudos ambientais almejam examinar o nível de ruído global referente a todas as frequências, outros objetivam examinar frequências específicas contidas no ruído sob observação. Isto é possível por meio do espectro de frequência, gráfico que apresenta a amplitude de cada frequência contida na fonte sonora.

Para estes casos, em prol de uma informação mais manejável, a faixa global é geralmente segregada em bandas de oitava e de 1/3 de oitava, usadas para “agrupar”, por meio de limites inferiores e superiores no entorno de uma frequência central padronizados, diferentes frequências num som para que a informação possa ser analisada mais facilmente.

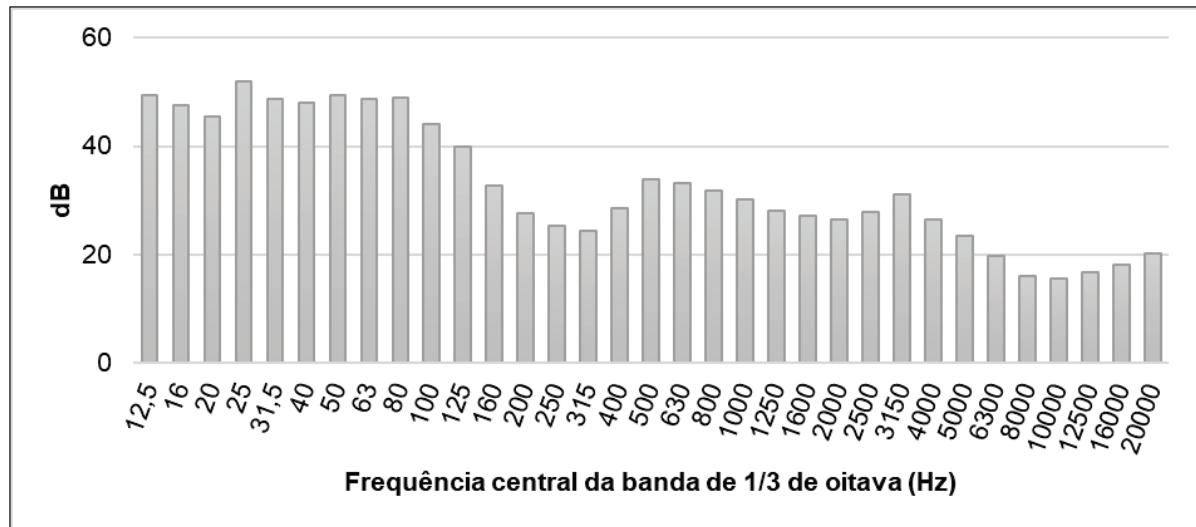
A seguir, a FIGURA 4 e a FIGURA 5 apresentam representações de um mesmo exemplo de ruído em banda de oitava e de 1/3 de oitava.

FIGURA 4 – EXEMPLO DE RUÍDO REPRESENTADO EM BANDA DE OITAVA.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 5 – RUÍDO DA FIGURA 4 REPRESENTADO EM BANDA DE 1/3 DE OITAVA.



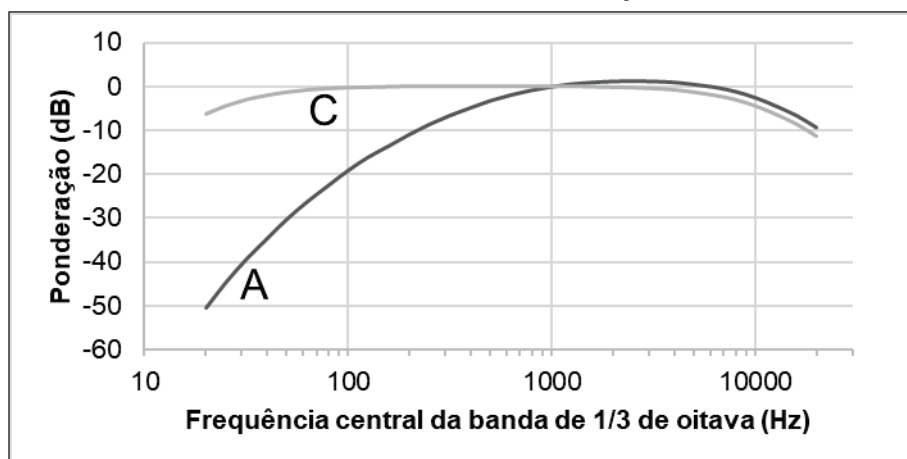
FONTE: O autor (2017).

2.4 PONDERAÇÃO EM A

O ouvido humano não responde igualmente aos sons a diferentes frequências, tendendo a perceber sons a baixas frequências como sendo de menor intensidade (MURPHY; KING, 2014). Por este motivo, Fletcher e Munson (1933 apud MURPHY; KING, 2014) investigaram como as pessoas reagem a sons de mesma intensidade executados a diferentes frequências e o resultado deste trabalho foi a curva de ponderação em A.

Com resultados são denotados em dB(A), trata-se da ponderação de frequência mais comum atualmente em uso para modelar o comportamento do ouvido humano. Juntamente com a curva de ponderação em C, utilizada particularmente em avaliações de sons muito altos ou de baixa frequência, são consideradas em equipamentos medidores por meio de filtros, que são circuitos eletrônicos de sensibilidade variável com a frequência (GERGES, 1992). Ambas as curvas são apresentadas na FIGURA 6.

FIGURA 6 – CURVAS DE PONDERAÇÃO A E C.



FONTE: O autor (2017).

Para um detalhamento discriminado da implicação da ponderação na frequência, na TABELA 1 são apresentadas as correções, em decibels, do filtro de ponderação em A para as frequências centrais das bandas de 1/3 de oitava entre 20 e 20.000 Hz, com indicação em negrito das frequências centrais das bandas de oitava.

TABELA 1 – CORREÇÕES DO FILTRO DE PONDERAÇÃO EM A.

Frequência (Hz)	Correção (dB)	Frequência (Hz)	Correção (dB)	Frequência (Hz)	Correção (dB)	Frequência (Hz)	Correção (dB)
20	-50,5	125	-16,1	800	-0,8	5000	0,5
25	-44,7	160	-13,4	1000	0	6.300	-0,1
31,5	-39,4	200	-10,9	1.250	0,6	8000	-1,1
40	-34,6	250	-8,6	1.600	1	10000	-2,5
50	-30,2	315	-6,6	2000	1,2	12.500	-4,3
63	-26,2	400	-4,8	2.500	1,3	16000	-6,6
80	-22,5	500	-3,2	3.150	1,2	20000	-9,3
100	-19,1	630	-1,9	4000	1		

FONTE: BIES; HANSEN (2003).

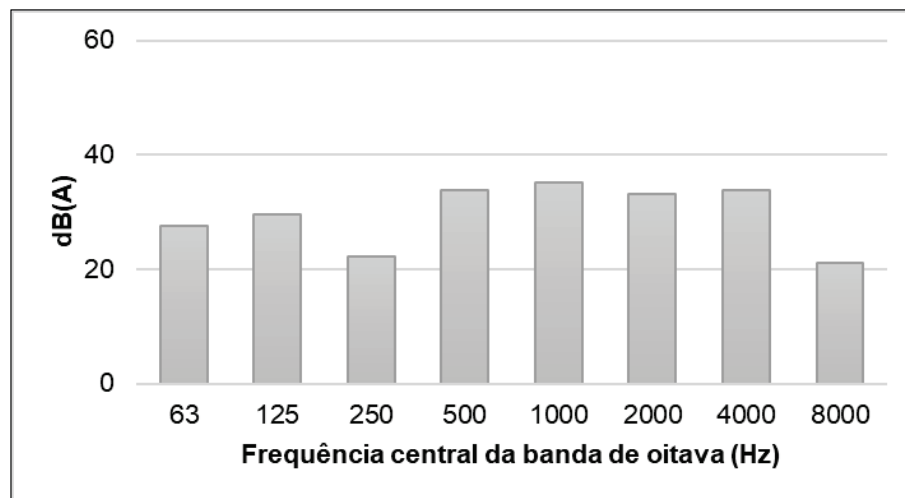
Como exemplo prático, a TABELA 2 apresenta a ponderação em A dos níveis em bandas de oitava do exemplo de ruído representado na FIGURA 4. O resultado, ponderado em A, é representado logo após, pela FIGURA 7.

TABELA 2 – EXEMPLO DE PONDERAÇÃO EM A DO RUÍDO DA FIGURA 4.

Frequência (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Nível linear (dB)	53,8	45,7	30,8	37,1	35,1	31,9	32,8	22,3
Correção (dB)	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	1,2	1	-1,1
Nível ponderado em A (dB(A))	27,6	29,6	22,2	33,9	35,1	33,1	33,8	21,2

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 7 – EXEMPLO DE RUÍDO DA FIGURA 4 PONDERADO EM A.



FONTE: O autor (2017).

2.5 PONDERAÇÃO TEMPORAL

Segundo Fahy e Walker (1998), é sabido a partir de dados experimentais relacionados ao tempo de integração do ouvido humano que aqueles com menos de 125 ms não são percebidos com sua intensidade total.

Em vista disso, os medidores de níveis sonoros ou sonômetros são providos de um circuito de ponderação temporal rápida F (*fast*), que possui uma constante de tempo de 125 ms, além de outros como *Peak* (pico) e S (*slow*), que possuem tempo de integração inferior a 100 μ s e de 1 s, respectivamente.

A intenção de uso da ponderação F é que as leituras do sonômetros respondam às variações do som da mesma maneira que o ouvido humano, com valores menores para sons transientes com duração inferior a 125 ms e maiores para os que possuem duração superior a esta constante. A ponderação *Peak*, por sua vez, busca representar tão rapidamente quanto possível o real nível de pico de um som transiente e, por fim, a ponderação S serve a outros propósitos, como avaliações de ruído ocupacional.

2.6 QUANTIFICAÇÃO SONORA

2.6.1 Nível de pressão sonora

O nível de pressão sonora (L_p) é a grandeza acústica determinante da sensação subjetiva de intensidade dos sons e, portanto, o componente básico de instrumentos para medidas acústicas é um sensor de pressão sonora (um transdutor eletroacústico conhecido como microfone).

O microfone transforma a pressão sonora em um sinal elétrico equivalente, que é condicionado e expresso em termos de L_p pelo sonômetro (BISTAFA, 2011). O L_p é resultado da equação (1), a seguir.

$$L_p = 10 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 \quad (1)$$

Onde:

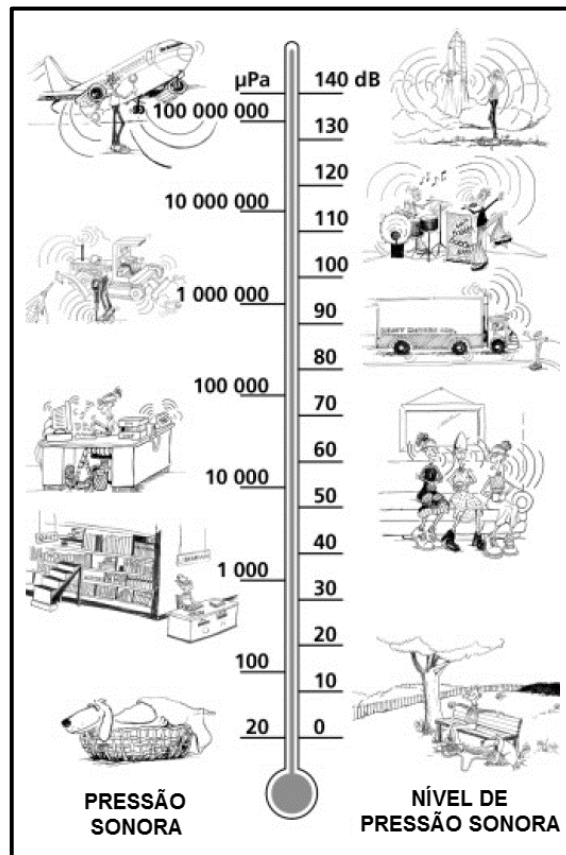
L_p = nível de pressão sonora, em decibel (dB);

p = pressão sonora, em Pascal (Pa);

p_0 = pressão sonora de referência, igual a 20 μ Pa.

Segundo a fabricante Brüel & Kjær (2000), a vantagem de se usar nível sonoro e decibel para expressão quantitativa do som pode ser visualizada através da FIGURA 8, na qual a escala linear de pressão sonora com seus grandes números é convertida numa escala gerenciável de níveis entre 0 dB ao limiar da audição (20 μ Pa) até 130 dB ao limiar da dor (100 Pa).

FIGURA 8 – RELAÇÃO ENTRE PRESSÃO SONORA E NÍVEL DE PRESSÃO SONORA.



FONTE: Adaptada de Brüel & Kjær (2000).

2.6.2 Nível de pressão sonora contínuo equivalente

Segundo Murphy e King (2014), o nível de pressão sonora contínuo equivalente no intervalo T , o $L_{eq,T}$, é o descritor sonoro mais comumente utilizado por representar a quantidade total de energia acústica num especificado período de tempo e resulta da equação (2).

$$L_{eq,T} = 10 \log \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{p(t)}{p_0} \right)^2 dt \quad (2)$$

Onde:

$L_{eq,T}$ = nível de pressão sonora contínuo equivalente, em decibel (dB);

t = tempo instantâneo;

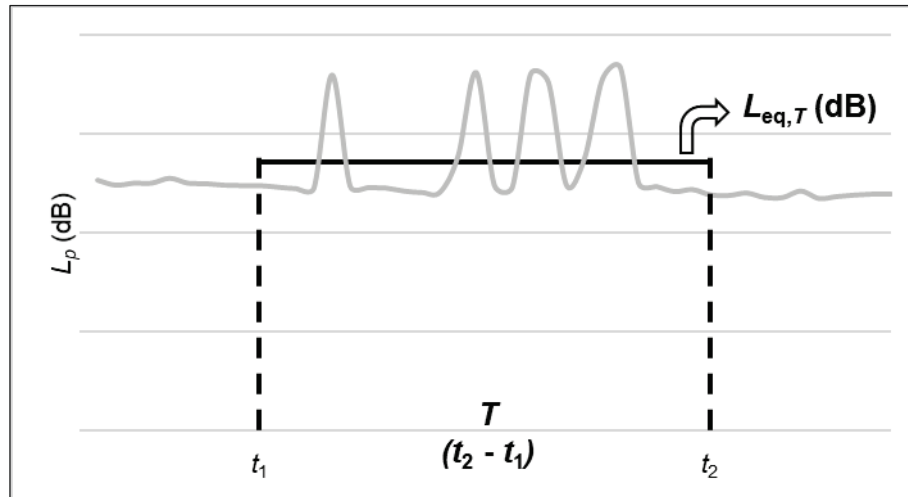
T = intervalo de tempo de integração, de t_1 a t_2 ;

p = pressão sonora, em Pascal (Pa);

p_0 = pressão sonora de referência, igual a 20 μPa.

Graficamente, o $L_{eq,T}$ é elucidado por meio da FIGURA 9.

FIGURA 9 – O NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE NO INTERVALO T.



FONTE: O autor (2017).

Esta conveniente medição da exposição média ao ruído, quando utilizado o filtro ponderador A ($L_{Aeq,T}$, em dB(A)), correlaciona razoavelmente bem com muitas respostas humanas ao ruído e é recomendada para uso geral (WHO, 1980).

2.6.3 Indicadores estatísticos

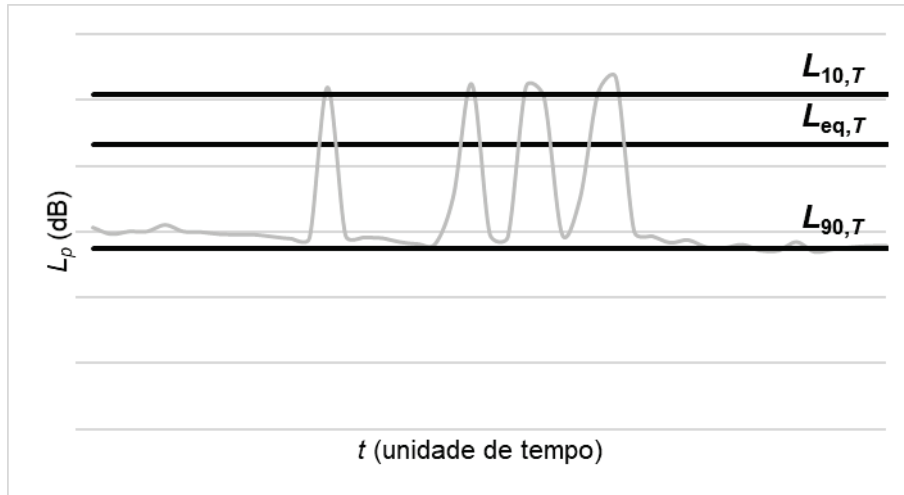
Registros de níveis sonoros em função do tempo podem ser caracterizados mais concisamente usando-se indicadores estatísticos que reportam o nível de pressão sonora que é excedido para N % do intervalo de tempo de integração considerado, $L_{N,T}$ ³.

Embora haja uma variedade de indicadores estatísticos, os dois mais comuns são os níveis de pressão sonora excedidos em 10 % e 90 % do intervalo T , denotados como $L_{10,T}$ e $L_{90,T}$, respectivamente (MURPHY; KING, 2014).

Enquanto o $L_{10,T}$ representa os registros de níveis de pressão sonora mais elevados, o $L_{90,T}$ é frequentemente utilizado para descrever o nível de ruído de fundo (*background*) e a diferença $(L_{10,T} - L_{90,T})$ é um indicador da magnitude da flutuação do som (WHO, 1980). A FIGURA 10 demonstra em termos relativos como os valores de $L_{eq,T}$, de $L_{10,T}$ e de $L_{90,T}$ devem se apresentar numa amostra de som intermitente.

³ Quando referentes a níveis de pressão sonoras ponderados em A, denota-se $L_{AN,T}$.

FIGURA 10 – NÍVEL DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE E INDICADORES ESTATÍSTICOS NO INTERVALO T PARA UMA AMOSTRA DE SOM INTERMITENTE.



FONTE: O autor (2017).

2.6.4 Níveis máximo e mínimo

De acordo com a ABNT (2014), os níveis máximo e mínimo de pressão sonora ponderado na frequência e no tempo são os valores máximo e o menor valor registrados durante a medição. São denotados como L_{AFmax} e L_{AFmin} , respectivamente, quando medidos com ponderação em A e no circuito rápido de resposta temporal F (*fast*) e como L_{ASmax} e L_{ASmin} quando considerados no circuito S (*slow*).

2.6.5 Média logarítmica da janela de condições de medição

A média logarítmica de um conjunto de N_m resultados de medições de L_{Aeq,T_i} (L_i) na janela de condições de medição k , L_k , é calculada com a equação (3), dada por ISO (2017).

$$L_k = 10 \log \left(\frac{1}{N_m} \sum_{i=1}^{N_m} 10^{0,1(L_i)} \right) \quad (3)$$

Onde:

L_k é o L_{Aeq} da janela k de condições de medição (meteorológicas e de emissão), em dB(A);

N_m é o número de medições de L_i ;

L_i é o L_{Aeq,T_i} da i -ésima medição, em dB(A).

2.6.6 Sons combinados num período completo

A média logarítmica de um conjunto de n resultados de medições $L_{Aeq,T}$ de j fontes sonoras combinadas ($L_{Aeqj,T_{nj}}$), denotada neste estudo como $L_{RAeq,T}$ é calculada com a equação (4), dada por ISO (2016).

$$L_{RAeq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_1^n \sum_1^j T_{nj} \cdot 10^{0,1(L_{Aeqj,T_{nj}})} \right) \quad (4)$$

Onde:

$L_{RAeq,T}$ é o L_{Aeq} global de sons combinados no período completo T , em dB(A);

$T = \sum_1^n T_{nj}$;

n é o número de sons combinados;

j é o j -ésimo som;

T_{nj} subdivisões do intervalo T para cada som j ;

$L_{Aeqj,T_{nj}}$ é o L_{Aeq} do j -ésimo som em T_{nj} .

2.6.7 Níveis sonoros de períodos completos

Conforme consta historicamente na literatura (HARRIS, 1979) o nível de pressão sonora ponderado em A dia-entardecer-noite, L_{den} , é também intitulado nível equivalente de ruído da comunidade (*Community Noise Equivalent Level* – CNEL).

Proposto pelo Estado da California (*State of California*, 1971 apud WHO, 1980), é um dos resultados da busca por um indicador sonoro adequado para definição de critérios relacionando exposição sonora e incomodo (WHO, 1980).

O L_{den} é definido pela equação (5), dada pela ISO (2016):

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{1}{24} (T_d \cdot 10^{0,1L_d} + T_e \cdot 10^{0,1(L_e+5)} + T_n \cdot 10^{0,1(L_n+10)}) \right] \quad (5)$$

Onde:

L_{den} é o nível sonoro dia-entardecer-noite, em dB(A);

T_d é o intervalo de tempo de integração de 12 horas referente ao período diurno (definido para este estudo das 6 às 18 horas);

L_d nível sonoro dia ($L_{Aeq,12h}$), em dB(A);

T_e é o intervalo de tempo de integração de 4 horas referente ao período entardecer (definido para este estudo das 18 às 22 horas);

L_e nível sonoro entardecer ($L_{Aeq,4h}$), em dB(A);

T_n é o intervalo de tempo de integração de 8 horas referente ao período noturno (definido para este estudo das 22 às 6 horas);

L_n nível sonoro noite ($L_{Aeq,8h}$), em dB(A).

Conforme afirma Murphy e King (2014), o L_{den} e o L_n , derivativos do L_{eq} , são os dois indicadores comuns selecionados pela Diretiva 2002/49/EC (EU, 2002a) para serem usados no desenvolvimento de mapas acústicos estratégicos em toda a Europa para avaliar incômodos e distúrbios no sono, respectivamente.

Também nos Estados Unidos da América e na década de 1970, após uma exaustiva revisão da pesquisa sobre impacto sonoro disponível, uma força tarefa concluiu que um nível de pressão sonora contínuo equivalente modificado, tomado durante um período de 24 horas e aplicação de uma penalidade de 10 dB no período noturno, era um indicador que combinava a facilidade de medição e alta correlação com o incômodo (USEPA, 1973 apud WHO, 1980).

Posteriormente denominado nível sonoro dia-noite (L_{dn}), baseado em L_{Aeq} (von Gierke, 1976 apud WHO, 1980), é definido pela equação (6) (ISO, 2016).

$$L_{dn} = 10 \log \left[\frac{1}{24} (T_d \cdot 10^{0,1L_d} + T_n \cdot 10^{0,1(L_n+10)}) \right] \quad (6)$$

Onde:

L_{dn} é o nível sonoro dia- noite, em dB(A);

T_d é o intervalo de tempo de integração de 15 horas referente ao período diurno (normalmente definido 7 às 22 horas, com variações em cada país);

L_d nível sonoro dia ($L_{Aeq,15h}$), em dB(A);

T_n é o intervalo de tempo de integração de 9 horas referente ao período noturno (normalmente definido 22 às 7 horas, com variações em cada país);

L_n nível sonoro noite ($L_{Aeq,9h}$), em dB(A).

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 MATERIAL RODANTE

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2015), anos recentes foi possível observar uma variação nas quantidades e nas características das composições formadas para o tráfego ferroviário, evidenciando uma tendência que vem se consolidando no setor. Apesar dos crescentes volumes embarcados e de produção ferroviária, observou-se, no período de 2011 a 2014, uma redução do número de trens formados, passando de cerca de 298 mil para 237 mil, isto é, uma diminuição de cerca de 20% do total de composições.

Em contraposição a essa redução, os trens formados se tornaram maiores. O número médio de vagões por composição passou de 54,1, em 2011, para 64,4, em 2014 (+19%); o de locomotivas, de 1,8 para 2,0, em média (+8%); e o volume transportado, de 2.193 para 2.526 toneladas úteis (TU) por composição (cerca de 15% de aumento). Foi observada, também, a redução da participação do percentual de vagões vazios no total de vagões por composição, indicando um melhor aproveitamento da capacidade de carga disponível e um consequente aumento na eficiência energética do transporte realizado.

Essa tendência de aumento do tamanho e melhor aproveitamento das composições, em detrimento da redução do número de trens, busca tornar mais eficiente e segura a operação de transporte ferroviário. Com trens maiores, é possível obter ganhos de escala, pelo transporte de maiores volumes de carga com, proporcionalmente, menores volumes de recursos. Ademais, reduzindo-se a quantidade de trens trafegando na malha, também são menores as probabilidades de ocorrência de acidentes em passagens em nível, por exemplo, uma vez que será menor a frequência do tráfego naquelas áreas. A interferência à comunidade urbana será menos recorrente (CNT, 2015).

De acordo com a Agência Nacional dos Transportes Terrestres (ANTT, 2016), a Declaração de Rede é o documento que consolida as informações técnico-operacionais de toda a malha ferroviária brasileira concedida, com vistas a subsidiar o processo de planejamento das operações sob a forma de interoperabilidade ferroviária.

Dados da Declaração de Rede 2017 (ANTT, 2016) revelam que no Brasil há segmentos entre pátios ferroviários com capacidade instalada variando entre 1,6 e 268 trens/ dia, com média de 23,5 trens/dia, e capacidade vinculada (tráfego efetivamente previsto/ planejado para cada trecho) variando entre menos de 0,1 a até 98 trens/ dia, com média de 9,7 trens/ dia.

Quando considerada apenas a malha ferroviária da Região Sul do Brasil, a capacidade instalada dos segmentos entre pátios varia entre 5 e 125 trens/ dia, com média de 25,3 trens/dia, enquanto a capacidade vinculada varia entre 0,3 e 40 trens/ dia, com média de 10,7 trens/ dia (ANTT, 2016).

Com relação às velocidades, enquanto estavam planejadas para a totalidade de linhas férreas do Brasil velocidades médias autorizadas (VMA) entre 10 e 83 km/h, com média de 35,4 km/h, esperavam-se velocidades médias comerciais (VMC) entre 2 e 54 km/h, com média de 17,5 km/h.

Especificamente na malha do Sul do Brasil, a Declaração de Rede 2017 apontava previsão de VMA entre 15 e 80 km/h, com média de 37,7 km/h, e de VMC entre 10 e 35 km/h, com média de 14,7 km/h (ANTT, 2016).

Quanto aos trens típicos, o mesmo documento apresenta dados para todo o Brasil significativas variações de características: 1 a 5⁴ locomotivas/ trem, com média de 2 locomotivas/ trem; 8 a 330 vagões/ trem, com média de 63 vagões/ trem; e 154 a 3.710 metros de comprimento, com média de 930 metros.

No Sul do país, os trens típicos cuja operação era prevista para 2017: 1 a 4 locomotivas/ trem, com média de 1,9 locomotivas/ trem; 15 a 100 vagões/ trem, com média de 58 vagões/ trem; e 220 a 1.575 metros de comprimento, com média de 910 metros.

Quanto ao material rodante em 2014, segundo a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2015), havia 3.115 locomotivas e 96.086 vagões em operação na malha ferroviária concedida ao transporte de carga no Brasil, em sua maioria do tipo gôndola e *Hopper*, destinados ao transporte de granéis sólidos.

Entre 2011 e 2014, o número de locomotivas cresceu apenas 0,7%, enquanto o número de vagões sofreu uma redução, de 5,8%. A redução dos vagões em operação está relacionada ao processo de modernização dos ativos que vem sendo realizado pelas concessionárias. Como resultado desse processo, iniciado ainda à

⁴ Em alguns trechos críticos de rampa com inclinação acentuada, ainda podem se somar a estas locomotivas outras que servem de potência auxiliar.

época da concessão, a idade média dos vagões em operação passou de cerca de 40 anos (superior à vida útil estimada para esses equipamentos, que é de 30 a 35 anos) para, aproximadamente, 22 anos (CNT, 2015).

Após este período, o levantamento da Revista Ferroviária (MARTINS, 2016) apontou um aumento do número de 64 locomotivas de 2014 para 2015 e uma diminuição de 54 locomotivas de 2015 para 2016, número ampliado para 215 a menos se consideradas apenas as máquinas ativas (MAGAROTI, 2017). A seguir, a TABELA 3 apresenta o levantamento da frota da operadora do Sul do Brasil.

TABELA 3 – LEVANTAMENTO DA FROTA DE LOCOMOTIVAS DA PRINCIPAL OPERADORA FERROVIÁRIA DO SUL DO BRASIL (BITOLA MÉTRICA).

Modelo	Fabricante	Potência (hp)	Ano médio de fabricação	Idade média em 2017 (anos)	Frota ativa	
					2015	2016
B12	GM	1.000	1955	62	1	1
BB33	GE	3.300	1983	34	1	1
C30-2	GE	3.000	1984	33	28	28
C30	GE	3.000	1981	36	19	19
C30MA	GE	3.000	1981	36	6	6
C30MP	GE	3.000	1982	35	1	1
D9BB	GE	3.990	2011	6	19	19
ES43BBI	GE	4.300	2016	1	0	24
ELÉT	GE	2.300	1947	70	2	0
G12	GM	1.310	1962	55	41	40
G22MP	Macosa	1.500	1973	44	1	0
G22UB	Macosa	1.500	1973	44	73	73
G22UC	Macosa	1.500	1972	45	11	11
G26	GM	2.000	1977	40	3	3
GL8	GM-EMD	875	1962	55	29	29
GT-18	GM	1.450	1976	41	9	8
GT-1	Villares	2.250	1988	29	45	45
GT-26	GM	2.600	1977	40	9	9
GT-2	Villares	2.250	1988	29	8	7
LEW	LEW	960	1970	47	0	0
RSD8	ALCO-GE	900	1958	59	0	0
SD40	GM	3.000	1976	41	111	86
U12B	GE	1.200	1973	44	2	2
U20C1	GE	2.150	1970	47	9	9
U20C	GE	2.000	1978	39	53	51
U20MP	GE	2.150	1978	39	10	8
U5B	GE	600	1963	54	4	4
U6C	GE	600	1959	58	1	0
UG-M1	Macosa	1.500	1973	44	35	35
UG-M2	GM	2.000	1977	40	11	11
UL-M1	ALL Brasil	1.452	1966	51	15	9
UL-M2	ALL Brasil	1.650	1972	45	4	2
UMM	GE	2.100	1979	38	1	0
Total					562	541

FONTE: MARTINS (2016); MAGAROTI (2017).

De acordo com os números da TABELA 3, percebe-se uma redução da frota ativa no Sul do Brasil em 21 locomotivas de 2015 para 2016, fato que se deve à aquisição de locomotivas com maior capacidade de tração, o que possibilitou retirar de circulação máquinas de menor capacidade e com baixa confiabilidade (MAGAROTI, 2017).

Foram adquiridas 24 locomotivas Evolution ES43BBi (bitola métrica) com 4.300 hp de potência, máquina que, segundo a operadora ferroviária, substitui duas SD40, o modelo que mais diminuiu de 2015 para 2016 com 25 a menos. Assim, a frota ativa dispõe de locomotivas recém-fabricadas a até 62 anos de idade média. Com predomínio de locomotivas dos modelos SD40 e G22UB, ambas com mais de 40 anos de idade média, possui também uma parcela de locomotivas como a Dash 9-40BBW (D9BB), de fabricação recente.

A locomotiva ES43BBi, ilustrada na FIGURA 11, foi desenvolvida exclusivamente para atender às características das ferrovias com trilhos de bitola métrica com oito eixos – que representam 80% da malha ferroviária do País. Fora isso, possui as mais novas tecnologias, como tração de corrente alternada, controle de eixo individual e motor diesel Evolution, resultando em uma locomotiva com mais esforço trator e melhor eficiência (MIRANDA, 2017).

FIGURA 11 – LOCOMOTIVAS ES43BBi.



FONTE: O autor (2017).

Em contrapartida, seguem trafegando na malha ferroviária composições com material rodante de longa data, como é o caso das G22UB e UG-M1, que trafegam no Ramal Rio Branco do Sul. Com potência em corrente contínua de apenas 1.500 hp cada unidade, idade média de mais de 40 anos (com máquinas isoladas que chegam

a possuir 60 anos de idade), tracionam composições ferroviárias que se configuram como uma grande oportunidade de melhoria em termos de eficiência operacional e planejamento acústico mediante controle de ruídos na fonte.

Como exemplo, a FIGURA 12 ilustra uma composição ferroviária com tripla de locomotivas associada ao Ramal Rio Branco do Sul, parada no Ramal de Curitiba.

FIGURA 12 – TRIPLA DE LOCOMOTIVAS (G22UB, UG-M1 E G22UB), COM DETALHE DA UG-M1.



FONTE: O autor (2017).

Quanto a vagões, dados mais recentes apontam um aumento de 5 % da frota brasileira de 2016 a 2017 (MARTINS, 2017), tendo sido o último investimento na Região Sul do Brasil de 378 novos vagões HPE (Vagão Hopper Fechado) em 2015 (MIRANDA, 2017).

3.2 RUÍDO AMBIENTAL, EFEITOS À SAÚDE E ANÁLISES

A OMS definiu ruído ambiental como ruído emitido por todas as fontes além dos locais de trabalho e também prescreve um valor orientador de $L_{Aeq,16h}$ de 50 dB(A) para os períodos diurno e entardecer em ambientes de convívio ao ar livre (BERGLUND et al., 1999). Já para períodos noturnos, o valor orientador recomendado para a Europa é o L_n fora das residências de 40 dB(A), em prol da minimização de distúrbios do sono (WHO, 2009).

Na mesma publicação, a OMS concluiu que há evidências suficientes para sugerir uma relação entre os níveis de exposição ao ruído nos períodos diurno e noturno a aumento de riscos cardiovasculares, com níveis diurnos superiores a 60 dB(A) e noturnos superiores a 55 dB(A). Por este motivo, na impossibilidade de se atingir o L_n fora das residências de 40 dB(A), o valor recomendado como interino é o de 55 dB(A).

Já a União Europeia se refere mais especificamente ao termo ruído ambiental como o som externo indesejável ou prejudicial criado por atividades humanas, incluindo o ruído emitido por meio de transporte, tráfego rodoviário, tráfego ferroviário, tráfego aéreo e de locais de atividade industrial (EU, 2002a).

Também na sua Diretiva do Ruído Ambiental, o limiar para mapeamento acústico e plano de ação são L_{den} de 55 dB(A) e L_n de 50 dB(A).

Seja geral ou estritamente gerado por atividades humanas, em 2011 a Organização Mundial da Saúde (WHO) categorizou o ruído do tráfego rodoviário sozinho como o segundo “estressor” ambiental mais prejudicial, atrás apenas da poluição atmosférica.

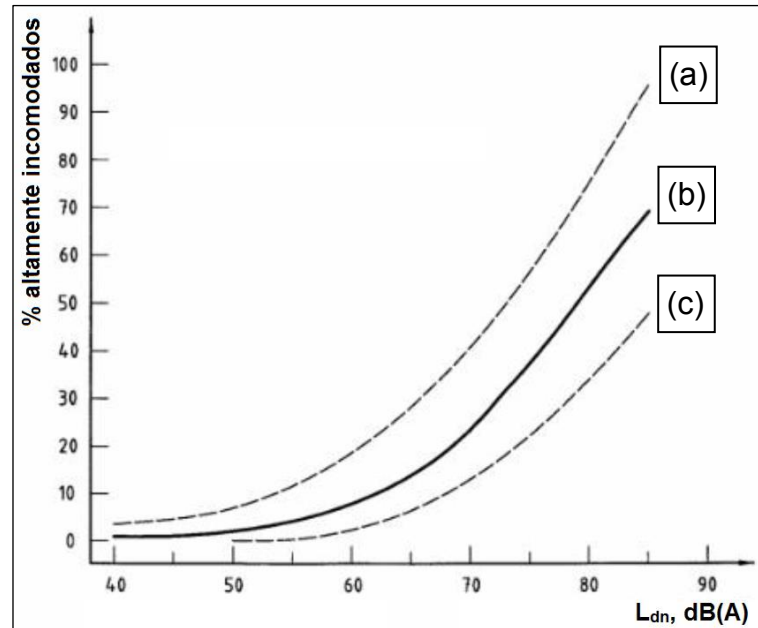
Ainda com respeito aos efeitos à saúde, segundo Vos (2016), o incômodo é o efeito mais comum do ruído ambiental. Trata-se de uma sensação de distúrbio ou desconforto que geralmente ocorre depois de um longo período de exposição contínua ou repetida. Afirma que, por definição, incômodo apenas pode ser avaliado por meio de pesquisas de campo com entrevista à população sobre sua sensação, mas também adianta que é pouco usual que pessoas apresentem incômodo quanto expostas a L_{den} inferior a 45 dB(A), valor a partir do qual a porcentagem de pessoas incomodadas ou altamente incomodadas aumenta proporcionalmente ao aumento do ruído.

No ano de 1978, Schultz (apud ISO, 2016) publicou uma relação entre o percentual da população que expressa grande incômodo a ruídos aeroviários, rodoviários e ferroviários e o nível sonoro dia-noite correspondente (L_{dn}), em dB(A). Poucos anos depois, Kryter (1982, apud ISO, 2016) argumentou que a resposta da comunidade ao ruído de sistemas de transporte não pode ser representada por uma única curva. Para iguais L_{dn} , o percentual de entrevistados altamente incomodados pelo ruído aeroviário é maior, seguido pelo percentual de incomodados pelo ruído gerado pelo tráfego rodoviário e, por último, pela ferrovia.

Em 1994, Finegold et al. revisaram as curvas de 1978 por meio de um conjunto maior de dados e alguns anos depois, também Miedema e Vos (1998). Com respeito à relação dose- resposta para o ruído de tráfego rodoviário, enquanto o percentual estimado pelos primeiros foi levemente inferior ao resultado de Schultz, a estimativa dos segundos se apresentou levemente superior, sendo a média das curvas obtidas virtualmente coincidentes com a curva de Schultz.

Ambas as três curvas são representadas na FIGURA 13, sendo a curva de Schultz representada numa linha sólida. Logo após, na FIGURA 14, são apresentadas relações de dose e efeito da União Europeia (EU, 2002b), com destaque exemplificando que a 60 dB(A) L_{den} de ruído ferroviário espera-se que 4% das pessoas estejam altamente incomodadas, resultado equivalente a 52 dB(A) L_{den} para ruído de tráfego rodoviário.

FIGURA 13 – PERCENTUAL DE ALTAMENTE INCOMODADOS POS SONS DE TRÁFEGO RODOVIÁRIO EM FUNÇÃO DO NÍVEL SONORO DIA-NOITE PONDERADO EM “A”.



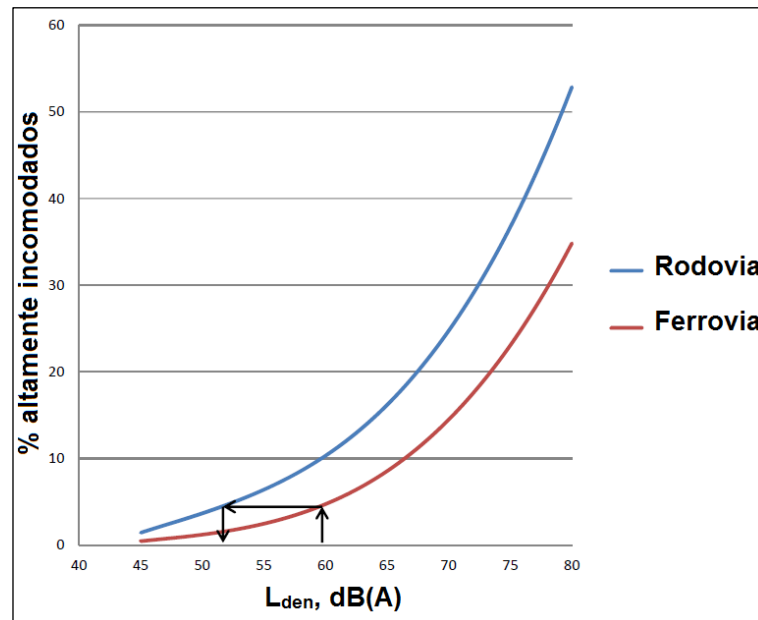
FONTE: Adaptada de ISO (2003).

LEGENDA: a) Miedema e Vos (1998);

b) Schultz (1978);

c) Finegold et al. (1994).

FIGURA 14 – RELAÇÕES DOSE- EFEITO DE RESIDENTES ALTAMENTE INCOMODADOS EM FUNÇÃO DO NÍVEL SONORO DIA-ENTARDECER-NOITE, PARA RUÍDOS DE RODOVIA E DE FERROVIA.



FONTE: Adaptada de EU (2002b, apud VOS, 2016).

A partir das relações dose- efeito da União Europeia (EU, 2002b), a tabela seguinte ilustra que para um tipo de fonte há uma única correspondência com respeito ao percentual de incomodados (%I) ou de altamente incomodados (%AI).

TABELA 4 – %I %AI EM FUNÇÃO DE VÁRIOS NÍVEIS SONOROS DIA-ENTARDECER-NOITE PARA RUÍDOS AEROVIÁRIOS E DE TRÁFEGOS RODOVIÁRIO E FERROVIÁRIO.

L_{den} dB(A)	Aeroviário		Tráfego rodoviário		Tráfego ferroviário	
	%I	%AI	%I	%AI	%I	%AI
45	11	1	6	1	3	0
50	19	5	11	4	5	1
55	28	10	18	6	10	2
60	38	17	26	10	15	5
65	48	26	35	16	23	9
70	60	37	47	25	34	14
75	73	49	61	37	47	23

FONTE: EU (2002b).

Nesta mesma tabela, vale destacar que o valor de 55 dB(A) de L_{den} apresenta-se como aquele a partir do qual 10% da população já se apresentaria altamente incomodada quando a fonte do ruído é o transporte aeroviário. Anos mais tarde, segundo a EEA (2014), “níveis de ruído elevados” são definidos no 7º Programa de Ação Ambiental⁵ como aqueles níveis acima de 55 dB(A) L_{den} e 50 dB(A) L_n .

Por fim, revisitada a literatura quanto a estudos de dose- resposta, vale mencionar que outros autores também estudaram reações subjetivas ao ruído gerado por sistemas de transporte ou especificamente pela ferrovia.

Belojevic (1997) entrevistou 413 residentes do centro de Belgrado divididos em 253 habitantes de áreas com L_{Aeq} superior a 65 dB(A) e 160 em zonas de controle, com L_{Aeq} inferior a 55 dB(A). Por meio uma exaustiva sequência de testes estatísticos, pode confirmar o amplamente aceito fato científico de que viver em locais com L_{Aeq} superiores a 65 dB(A) coloca uma população urbana numa categoria de elevado risco de numerosos efeitos subjetivos do ruído, psicológicos, no sono e distúrbios comportamentais. Observou também significativa correlação positiva com traços de personalidade de neuroticismo e sensibilidade ao ruído, fatores pessoais que sugere que sejam incluídos em avaliações de efeitos subjetivos da comunidade em estudos futuros.

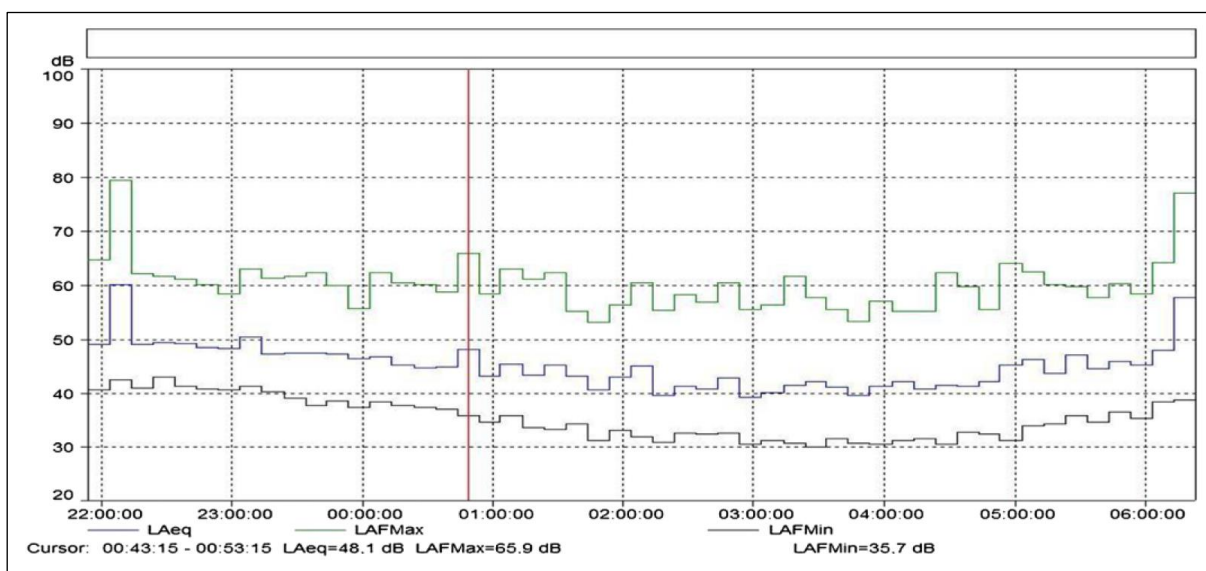
⁵ 7th Environmental Action Programme (EAP) – ‘Living well, within the limits of our planet’.

Zannin e Bunn (2014) avaliaram o ruído causado pelo tráfego ferroviário em Curitiba e conduziram entrevistas com residentes das vizinhanças interceptadas pela linha férrea para avaliar o grau de incomodo devido ao ruído gerado pelo trem.

A análise dos 130 questionários preenchidos por um residente de cada casa indicou que 62% mora no local há um período entre um e cinco anos, 25% vive lá por mais de cinco anos e apenas 18% vive lá por menos de um ano. Referente ao período em que viveram lá, 65% indicou que o ruído aumentou, 33% que o ruído permaneceu o mesmo e apenas 2% afirmou que diminuiu. Com respeito a demais reações subjetivas, 88% respondeu que, em termos de poluição sonora, o período noturno é o mais crítico e 69% acredita que o ruído ferroviário desvaloriza sua propriedade.

Ademais, a pesquisa com este público revelou que mais de um terço dos entrevistados reporta afetação ao sono pelo ruído do trem entre 04h00 e 06h00, 06h00 e 08h00 e entre 22h00 e 00h00, situação ratificada pelo resultado de uma medição de longo período conduzida entre 22h00 e 06h00 na residência de um entrevistado. Apresentado na FIGURA 15, o resultado ao longo do tempo ilustra que, nos períodos de reporte de afetação, os L_{Aeq} nesta residência são superiores a 50 dB(A).

FIGURA 15 – NÍVEIS SONOROS EM FUNÇÃO DO TEMPO DE UMA MEDIÇÃO DE PERÍODO COMPLETO DE RUÍDO DE TREM NA RESIDÊNCIA NA CASA DE UM RESIDENTE.



FONTE: ZANNIN; BUNN (2014).

Conforme discutido introdutoriamente, há décadas o ruído ambiental vem sendo estudado, de maneira cada vez mais estratégica para que os resultados de avaliação sejam mais abrangentes e efetivos. Nesta linha de tratativa, autores

concluíram nos anos recentes que, em geral, resultados de medições ditas curtas, de $L_{Aeq,15min}$, ficam dentro de ± 3 dB do valor equivalente de L_d (KING; RICE, 2009; ROMEU et al., 2011; ZANNIN et al., 2013).

Outra questão sempre avaliada quanto a medições sonoras é a representatividade dos resultados frente ao objeto de avaliação e ao objetivo final de controle do ruído. Fontes sonoras intrusivas no som residual, por exemplo, podem estar presentes e devem ser consideradas. Segundo Abbott e Nelson (2002 apud MURPHY; KING, 2014), é o caso de sons matutinos de aves, por exemplo, que podem ser registrados como uma significativa fonte de ruído, enquanto na Austrália ruídos de insetos têm sido identificados como sons intrusivos nos meses de verão (CALEY; SAVERY, 2007 apud MURPHY; KING, 2014).

Também por meio da pesquisa para conhecimento aprofundado entre níveis sonoros e efeitos à fauna, como o chamado Efeito Lombard⁶, autores têm evidenciado a elevada potência sonora de certos animais que podem ocorrer no meio urbano. Gerhardt (1975) mediu em campo os níveis de pressão sonora da vocalização de 21 espécies de anuros norte-americanos, obtendo valores no circuito *fast* para diferentes espécies entre 77 e 100 dB a 50 cm de distância e entre 71,5 e 94,5 dB a 100 cm de distância. São magnitudes mais recentemente ratificadas por Love e Bee (2010), que obtiveram num teste experimental sobre a tese de que anuros também sofreriam o Efeito Lombard, a exemplo de pássaros e mamíferos.

Retornando às fontes sonoras antrópicas de ruído ambiental, López-Pacheco et al. (2014, 2016) já vêm mostrando interesse nos últimos anos a identificar e avaliar individualmente fontes sonoras comuns que estão misturadas na paisagem sonora urbana, tais como veículos, apitos, sirenes, buzinas de carros e aglomerações de pessoas desenvolvendo atividades sociais, comerciais ou recreacionais. Primeiramente com uma boa performance na análise (LÓPEZ-PACHECO et al., 2014), com o algoritmo mais recente já ter atingido sucesso em identificar uma fonte predominante numa real mistura entre classes de paisagens sonoras urbanas (LÓPEZ-PACHECO et al., 2016).

⁶ Tendência de humanos ou animais aumentarem a amplitude da voz à medida em que o ruído de fundo se eleva.

3.3 RUÍDO FERROVIÁRIO E AVALIAÇÕES POR MEDIÇÕES

3.3.1 Ruídos gerados pelo tráfego ferroviário

Segundo Vos (2013), as fontes de ruído do tráfego ferroviário podem ser distinguidas de acordo com a faixa de velocidade:

- A baixas velocidades, o ruído da tração ou ruído do motor é dominante; trata-se de um ruído que emerge do motor principal (exaustão, resfriamento e ventilação dos motores a diesel; resfriamento, engrenagens e ruído de transformador para motores elétricos);
- A velocidades médias, isto é, entre 40 e 160 km/h, ruído de rolamento é a fonte dominante; é causado por irregularidades superficiais na roda e na área de contato do trilho, indicadas como rugosidade;
- A altas velocidades, de aproximadamente 160 a 220 km/h, o ruído aerodinâmico é dominante.

Além destas fontes de ruído, algumas outras podem ser relevantes em situações específicas, tais como:

- Guincho de curva;
- Guincho do freio;
- Ruído de sinalização, tal como o sinal de alerta produzido pela buzina do trem.

Com respeito à sinalização, no Brasil atualmente a NBR 16647 (ABNT, 2016) estabelece os requisitos acústicos para buzinas utilizadas em locomotivas. Definindo que se trata de um dispositivo de sinalização acústica utilizado em veículos ferroviários providos de tração própria. Destinado a produzir som para efeito de advertência, estabelece que deve emitir som contínuo e uniforme e gerar um nível de pressão sonora mínimo de 96 dB e um nível de pressão máximo de 110 dB, medidos a 30 m do veículo, na sua direção de percurso e em condições específicas.

Segundo Vér (1976, apud BARRON, 2003), há diversas contribuições à geração de ruído por vagões ferroviários, incluindo a interação roda-trilho, interação de acoplagem de vagões e vibração de componentes estruturais do mesmo. Quando

a ferrovia e o vagão são apropriadamente mantidos, estes componentes são dificilmente distinguidos.

As quatro principais contribuições à geração de ruído roda-trilho para vagões são: o ruído produzido pela rugosidade do trilho; achatamento nas rodas de vagões; vãos em juntas de trilhos; atrito/ esmerilhamento da flange (borda) da roda, que pode ser significativo em ferrovias com curvas fechadas, a ponto de elevar o nível de ruído em 15 dB(A) (CANN et al., 1974 apud BARRON, 2003).

Segundo Lipscomb e Taylor (1978, apud BARRON, 2003), há diversos procedimentos que podem ser usados para reduzir o ruído roda-trilho. O esmerilhamento dos trilhos para prover uma superfície mais plana e lisa, a qual reduz o ruído de 3 a 6 dB(A). As rodas podem ser torneadas ou esmerilhadas para eliminar pontos de achatamento, o que pode reduzir o ruído entre até 8 – 10 dB(A) dependendo da severidade do estado da roda. Da mesma maneira, reduções de ruído da ordem de 8 a 10 dB(A) podem ser atingidas, dependendo do grau de irregularidade da ferrovia, utilizando-se trilhos longos soldados. Finalmente, uma parcela de melhoria pode ser obtida pela substituição dos truques dos vagões para incluir amortecimento da vibração no sistema de suspensão.

As fontes de ruído de uma locomotiva diesel elétrica, por sua vez, que é o principal tipo em operação nas ferrovias de carga do Brasil, incluem: ruído da exaustão do motor diesel; ruído da ventoinha; vibração estrutural do motor; e ventilador do motor de tração. Além disso, há também algum ruído gerado devido a interações roda-trilho e vibração de componentes estruturais do corpo da locomotiva.

Como exemplo, a TABELA 5 ilustra as referidas parcelas de contribuição para uma locomotiva que gera, a 30 metros de distância, um L_{Aeq} de 87 dB(A).

TABELA 5 – CONTRIBUIÇÕES DE RUÍDO PARA UMA LOCOMOTIVA DIESEL ELÉTRICA DE 3000 HP EM CONDIÇÕES DE PLENA CARGA.

Fonte de ruído	L_{Aeq} a 30 m, dB(A) (plena carga)	Fração de energia (%)
Exaustão do motor	84	52
Ventoinha	83	41
Vibração do motor	66.5	1
Ventilador do motor de tração	75	6
Global	87	100

FONTE: BARRON (2003).

3.3.2 Medição e avaliação do ruído ferroviário

Embora, conforme já discutido, haja estimativa de milhões de pessoas expostas a níveis de ruído elevados gerados pelo transporte ferroviário, não é usual se encontrar estudos práticos na literatura.

Bronzatti (2009) realizou medições do nível de ruído de passagens de composições típicas, formadas por duas locomotivas diesel elétricas modelo G12 (1.425 hp) e 15 vagões tipo *Hopper*, bem como do ruído de fundo, na ausência da passagem de trens, a três diferentes distâncias da ferrovia em dois locais de medição no Município de Ijuí/RS: *Site A* e *Site B*.

Quanto a passagens de trens, na ocasião das medições foram também medidas as velocidades das composições ferroviárias, cujas médias resultaram em 23,25 km/h no *Site A* e 19,04 km/h no *Site B*. Isto posto, constam na TABELA 6, a seguir, os níveis de pressão sonora equivalentes calculados para os registros referentes apenas à passagem do trem e para o intervalo de medição de cinco minutos preestabelecido e no qual a passagem se insere.

TABELA 6 – RESUMO DOS DADOS OBTIDOS COM O RUÍDO DO TREM E O RUÍDO TOTAL NO SITE A E SITE B.

Distância (m)	Site A		Site B	
	$L_{Aeq(trem),T_i}$ dB(A)	$L_{Aeq,5min}$ dB(A)	$L_{Aeq(trem),T_i}$ dB(A)	$L_{Aeq,5min}$ dB(A)
15	93,7	85,6	92,8	85,5
30	88,7	81,6	88,8	82,3
45	86,9	79,7	85,7	78,2

FONTE: BRONZATTI (2009).

Na ausência do ruído gerado pelo trem, os $L_{Aeq(res),T}$ medidos e apresentados na TABELA 7 revelam uma condição impactada para uma área urbana, quando comparada aos níveis recomendados pela OMS para o período diurno, de 50 dB(A), e até mesmo o limiar de aumento de riscos cardiovasculares, de 60 dB(A).

TABELA 7 – RESUMO DOS DADOS COM O RUÍDO DA CIDADE (SOM RESIDUAL).

Distância (m)	$L_{Aeq(res),T}$ dB(A)	
	Site A	Site B
15	67,2	63,8
30	64,6	70,0
45	68,0	71,0
Média	66,6	68,3

FONTE: BRONZATTI (2009).

Bunn (2013), por sua vez, avaliou os níveis de ruído gerados pelas passagens de composições ferroviárias (com e sem o acionamento da buzina), bem como o ruído ambiente sem a passagem do trem nas imediações de 26 das 48 passagens em nível existentes no Município de Curitiba, distribuídas entre os ramais ferroviários denominados Rio Branco do Sul e Jardim Botânico.

Enquanto no primeiro ramal opera apenas uma composição típica, que atende uma cimenteira situada no Município de Rio Branco do Sul e é declarada pela Agência Nacional de Transportes Terrestres como usuária dependente do sistema ferroviário de transporte de cargas, no segundo ramal trafega esta mesma composição, além de um trem de passageiros.

Seu robusto conjunto de resultados foi apresentado com distinções quanto a três diferentes situações de medição, listadas abaixo juntamente com seus resultados:

- A (com buzina): $L_{Aeq(trem+buzina),T_i}$ entre 95 e 115,7 dB(A);
- B (sem buzina): $L_{Aeq(trem),T_i}$ entre 73,2 e 94,8 dB(A);
- C (ambiente): $L_{Aeq(res),T_i}$ entre 53,6 a 71,5 dB(A).

Revela a geração de ruídos bastante elevados quando a buzina é acionada, superando, inclusive, a especificação atualmente estabelecida pela NBR 16447 (ABNT, 2016), de até 110 dB(A), mesmo que não tenham sido observados os critérios de medição nela estabelecidos.

Quanto ao $L_{Aeq(trem),T_i}$ sem buzina, os resultados são também expressivos e podem ter associação com as características do material rodante que trafega no ramal Rio Branco do Sul, com máquinas de tração de baixa potência e elevada idade.

Por fim, os níveis de ruído do ambiente, neste estudo denotados como som residual, $L_{Aeq(res),T_i}$, revelam também uma condição indesejada, superior ao valor orientador da OMS para o período diurno, de 50 dB(A), e até mesmo ao limiar de aumento de riscos cardiovasculares desta Organização, de 60 dB(A).

Grubliauskas et al. (2014) procederam a medições de níveis de ruído de um total de 33 passagens de trens durante os períodos diurno e noturno na cidade Lituana Klaipeda, situada numa ferrovia de carga geral e de passageiros com variabilidade de composições.

Os resultados obtidos, por tipos de fontes e a diferentes distâncias, são apresentados na TABELA 8. A partir destes, percebe-se que a média logarítmica dos

$L_{Aeq(trem),T_i}$ (ou L_i), neste estudo denotada como L_k , é inferior ao L_i mais elevado em até 18 dB(A), mesmo se tratando do mesmo tipo de trem. A única exceção diz respeito às locomotivas diesel, que apresentaram menor variação entre valor médio e valor máximo.

Por este panorama, acrescido do fato que L_{Amax} da ordem de 100 dB(A) muito provavelmente estão associados a um acionamento de buzina não regularmente observado para todos os tipos de trens, pode-se inferir que há sensível oportunidade de melhoria para redução dos níveis de ruídos gerados, seja no material rodante ou por meio da regularização do uso da buzina, sobretudo pelos trens de carga (tanque e de porta lateral).

TABELA 8 – NÍVEIS DE RUÍDO FERROVIÁRIO MEDIDOS EM KLAIPEDA, LITUÂNIA.

Tipo de trem	a) Níveis de ruído a 7,5 m da ferrovia				a) Níveis de ruído a 20 m da ferrovia			
	Médio		Mais alto		Médio		Mais alto	
	L_k dB(A)	L_{Amax} dB(A)	L_i dB(A)	L_{Amax} dB(A)	L_k dB(A)	L_{Amax} dB(A)	L_i dB(A)	L_{Amax} dB(A)
Trens de passageiro	76	79	86	89	75	78	84	86
Locomotiva diesel	73	78	78	86	72	77	77	81
Vagões tanque	75	85	93	103	72	81	81	89
Vagões de porta lateral	74	82	88	102	70	78	82	101

FONTE: GRUBLIAUSKAS et al. (2014).

A partir destes, os autores procederam ao cálculo da velocidade média durante os períodos diurnos e noturnos, bem como o L_d o L_n e os níveis máximos de ruído na Estação Ferroviária Klaipeda, que são apresentados na TABELA 9. Notam-se velocidades médias reduzidas e níveis máximos mais condizentes com a passagem de locomotivas sem o acionamento de buzina. Quanto ao L_d e o L_n

TABELA 9 – COMPARAÇÕES ENTRE VELOCIDADE, NÍVEL DE RUÍDO EQUIVALENTE E NÍVEL DE RUÍDO MÁXIMO DURANTE OS PERÍODOS DIURNO E NOTURNO NA ESTAÇÃO FERROVIÁRIA KLAIPEDA.

	Período do dia	Média \pm desvio padrão
Velocidade km/h	Diurno	13,747 \pm 1,474
	Noturno	14,592 \pm 1,717
$L_{Aeq,T}$	L_d	73,439 \pm 1,063
	L_e	72,988 \pm 1,239
Nível máximo	Diurno	81,145 \pm 1,230
	Noturno	80,335 \pm 1,432

FONTE: GRUBLIAUSKAS et al. (2014).

Por fim, por meio de análises estatísticas, Grubliauskas et al. (2014) concluíram que os níveis de ruído equivalente e máximos são principalmente dependentes do tipo de trem e da distância da ferrovia.

Mais recentemente, Luzzi, Cervo e Specht (2015) analisaram o ruído ferroviário no Município de Santa Maria/RS por meio de metodologia semelhante à adotada por Bronzatti (2009). Foram realizadas medições a três diferentes distâncias em dois pontos, sendo apresentados os dados obtidos em todas as medições realizadas na TABELA 10.

TABELA 10 – RESUMO DOS NÍVEIS DE PRESSÃO SONORA EQUIVALENTE COLETADOS EM CAMPO.

Distância (m)	Velocidade (km/h)	$L_{Aeq,T_{trem}}$ dB(A)
7,5	13,35	83,4
	10,08	80,8
10	9,43	77,0
	9,22	75,9
15	14,1	74,8
	9,47	72,9
Som residual $L_{Aeq,T_{res}}$, dB(A)		65,1

FONTE: LUZZI, CERVO E SPECHT (2015).

3.4 MAPEAMENTO ACÚSTICO E PLANEJAMENTO ACÚSTICO

De acordo com a END (EU, 2002a), mapeamento acústico significa a apresentação de dados numa situação de ruído predita ou existente em termos de um indicador sonoro, apontando violação de qualquer limite relevante em vigor, o número de pessoas expostas numa área ou o número de moradias expostas a certos valores de um indicador sonoro numa área.

Dá-se o nome de mapa acústico estratégico aquele projetado para a avaliação global de exposição ao ruído numa dada área por diferentes fontes de ruído ou para predições gerais para esta área.

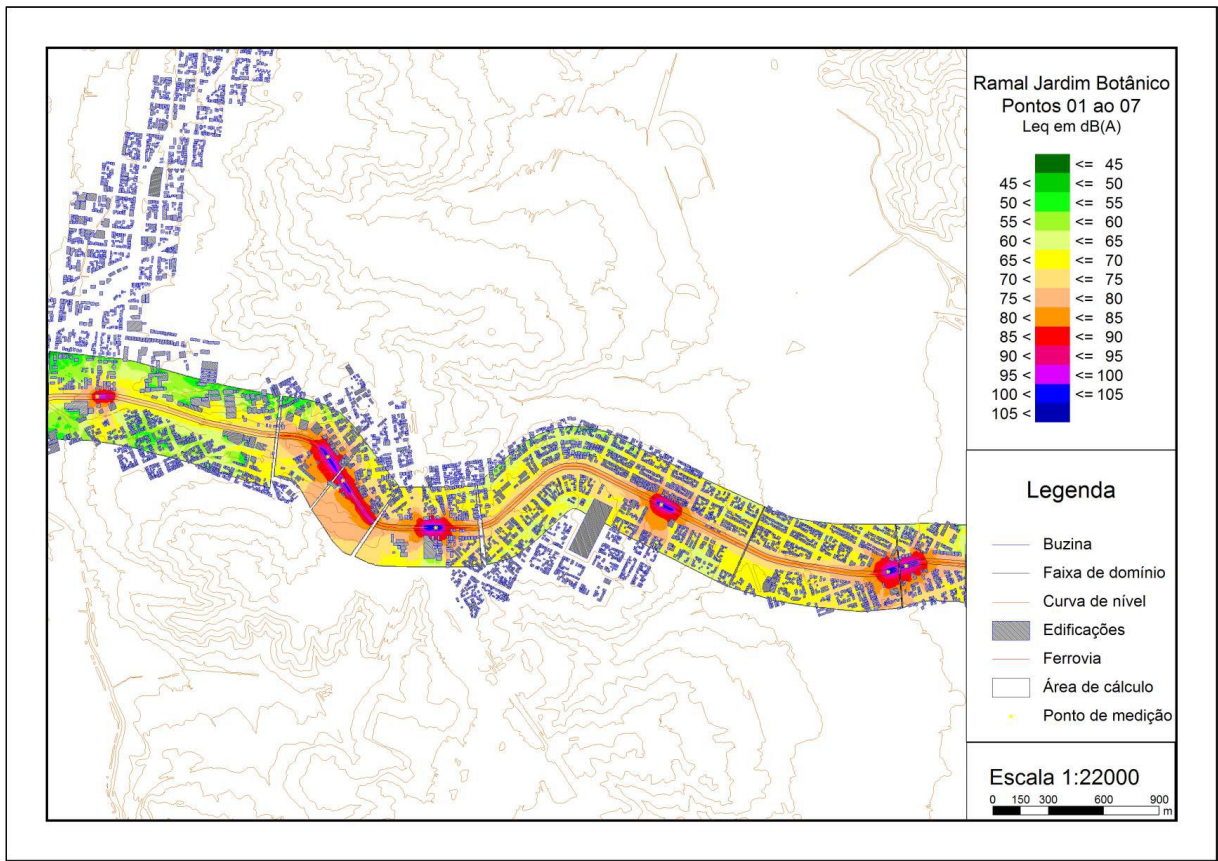
Planejamento acústico, por sua vez, é o controle de ruído futuro por medidas tais como planejamento do uso do solo, sistemas de engenharia de tráfego, planejamento de tráfego, abatimento por isolamento acústico e controle de ruído das fontes.

Bunn (2013) e Bunn e Zannin (2016), além avaliarem o ruído ferroviário por meio de medições, calcularam mapas acústicos para uma visualização global do ruído gerado pelo trem e, com estes, observou que as regiões próximas às passagens de nível são as mais impactadas, pois antes dos cruzamentos da via férrea com as vias urbanas ocorre o acionamento da buzina do trem (em uma distância total de 100 metros).

Após os resultados obtidos das medições e mapeamentos acústicos, ficou evidenciado que o tráfego de trens, nos trechos urbanos estudados, produz um impacto ambiental que resulta em níveis de poluição sonora inadequados às pessoas que vivem ou trabalham próximas às vias férreas.

A FIGURA 16, a seguir, apresenta o mapa acústico referente ao ramal Jardim Botânico, enquanto a TABELA 11 apresenta a avaliação global dos níveis sonoros que revela haver fachadas de residências expostas a L_{Aeq} com valores superiores a 90 dB(A).

FIGURA 16 - MAPEAMENTO ACÚSTICO – TODOS OS PONTOS DO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.



FONTE: BUNN (2013).

TABELA 11 - AVALIAÇÃO GLOBAL DOS NÍVEIS SONOROS NO RAMAL JARDIM BOTÂNICO.

Ponto	$L_{Aeq,(trem),T_i}$ (Local de acionamento da buzina)	$L_{Aeq,(trem),T_i}$ (fachada das casas mais próximas à PN)	$L_{Aeq,(trem),T_i}$ (fachada das casas mais afastadas da PN)
01	95 dB(A) a 105 dB(A)	80 dB(A) a 90 dB(A)	65 dB(A) a 70 dB(A)
02 e 03	100 dB(A) a 110 dB(A)	85 dB(A) a 100 dB(A)	75 dB(A) a 90 dB(A)
04	ultrapassam 105 dB(A)	90 dB(A) a 95 dB(A)	75 dB(A) a 85 dB(A)
05	ultrapassam 100 dB(A)	85 dB(A) a 95 dB(A)	65 dB(A) a 75 dB(A)
06 e 07	ultrapassam 105 dB(A)	85 dB(A) a 95 dB(A)	65 dB(A) a 75 dB(A)

FONTE: BUNN (2013).

A partir da mesma pesquisa de base de Bunn (2013), Bunn e Zannin (2016) exploraram o mapeamento acústico para prognóstico da melhoria que a eliminação da necessidade de acionamento de buzina ou a instalação de barreiras acústicas seriam capazes de propiciar num local com dois hospitais vizinhos e num segundo local com uma escola.

De acordo com o que consta na TABELA 12 e na TABELA 13, por questões diversas associadas à propagação acústica calculada e representada pela FIGURA 17 e pela FIGURA 18, as medidas de controle de ruído simuladas seriam capazes de reduzir entre 2 e 8 dB(A).

TABELA 12 – REDUÇÃO DE NÍVEIS DE RUÍDO SEM O ACIONAMENTO DE BUZINA.

	L_{Aeq} com acionamento de buzina	L_{Aeq} sem acionamento de buzina	Níveis de redução de ruído
Hospital Marcelino Champagnat	68 - 70 dB(A)	66 - 68 dB(A)	até 4 dB(A)
Hospital Cajuru	64 - 70 dB(A)	60 - 68 dB(A)	até 6 dB(A)
Escola Estadual Maria Aguiar Teixeira	66 - 70 dB(A)	64 - 68 dB(A)	até 6 dB(A)

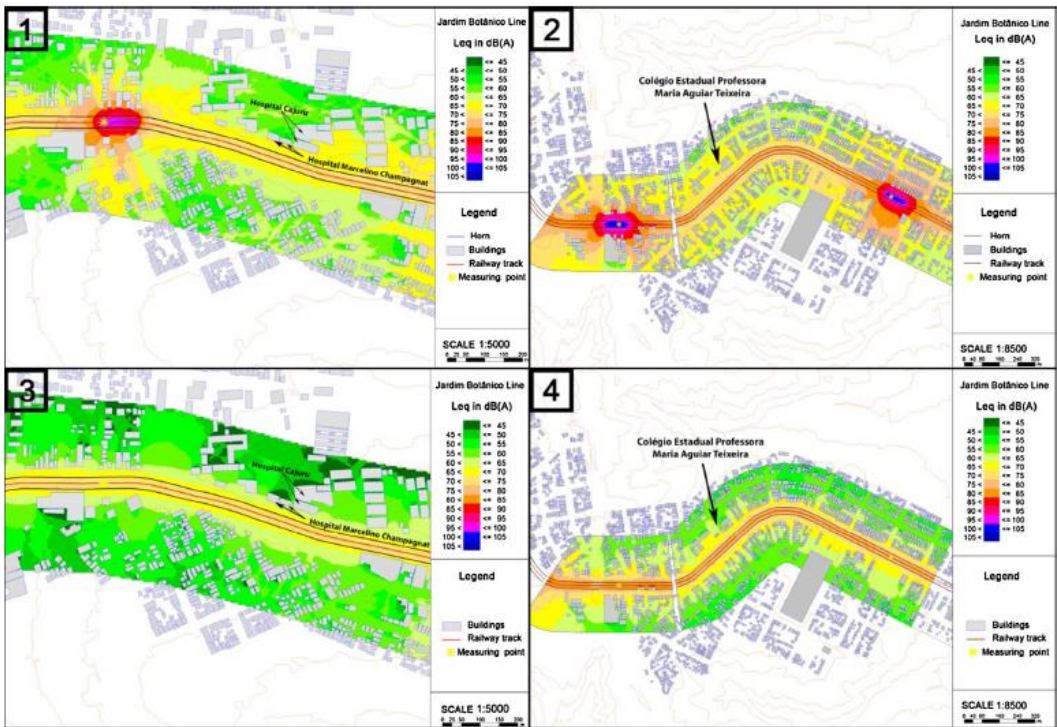
FONTE: BUNN; ZANNIN (2016).

TABELA 13 – REDUÇÃO DE NÍVEIS DE RUÍDO MEDIANTE CONSTRUÇÃO DE UMA BARREIRA ACÚSTICA.

	L_{Aeq} sem barreira acústica	L_{Aeq} com barreira acústica	Níveis de redução de ruído
Hospital Marcelino Champagnat	68 - 70 dB(A)	66 - 70 dB(A)	até 2 dB(A)
Hospital Cajuru	64 - 70 dB(A)	64 - 68 dB(A)	até 2 dB(A)
Escola Estadual Maria Aguiar Teixeira	66 - 70 dB(A)	58 - 68 dB(A)	até 8 dB(A)

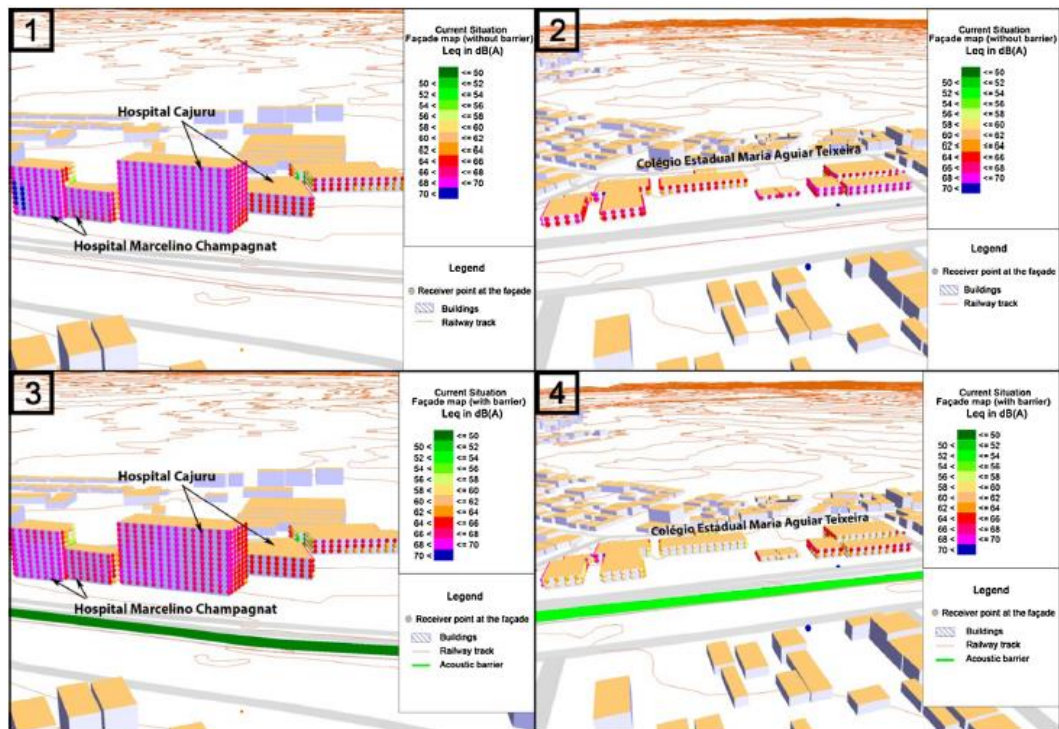
FONTE: BUNN; ZANNIN (2016).

FIGURA 17 – MAPEAMENTO ACÚSTICO COM TREM BUZINANDO (1 E 2) E SEM ACIONAR BUZINA (3 E 4).



FONTE: BUNN; ZANNIN (2016).

FIGURA 18 – MAPAS ACÚSTICOS DAS FACHADAS DOS HOSPITAIS CAJURU E MARCELINO CHAMPAGNAT E DA ESCOLA ESTADUAL MARIA AGUIAR TEIXEIRA – CENÁRIOS SEM BARREIRA ACÚSTICA (1 E 2) E COM BARREIRA (3 E 4).

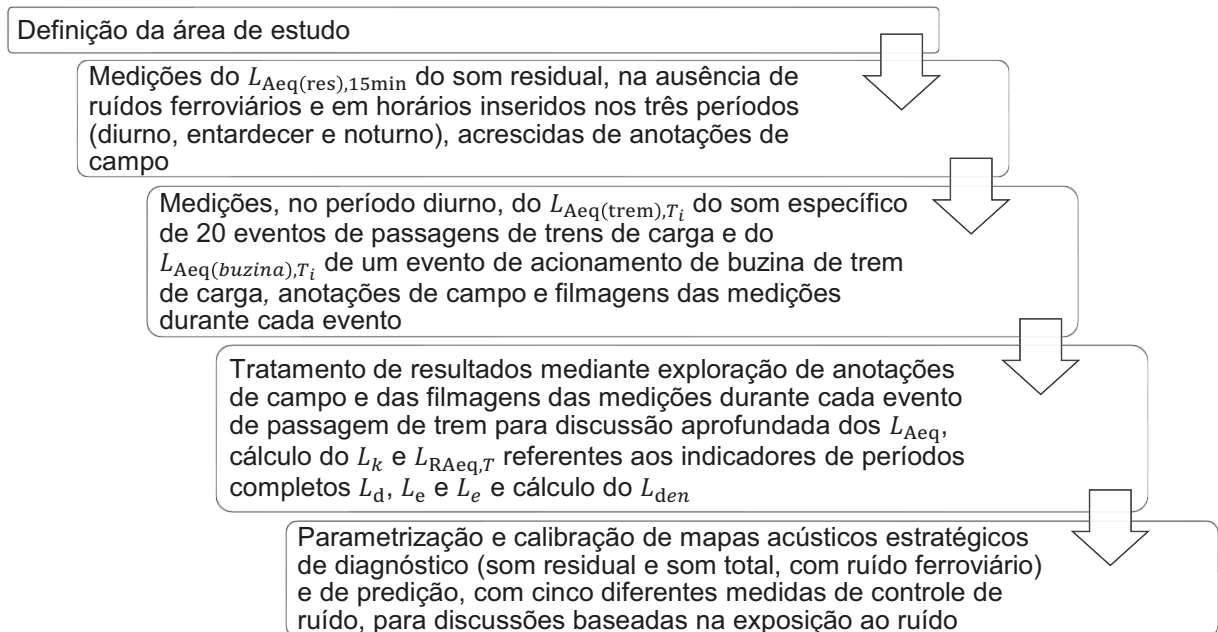


FONTE: BUNN; ZANNIN (2016).

4 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia deste estudo em busca de seus objetivos é resumida por meio da FIGURA 19 e detalhada logo a seguir.

FIGURA 19 – METODOLOGIA APLICADA.

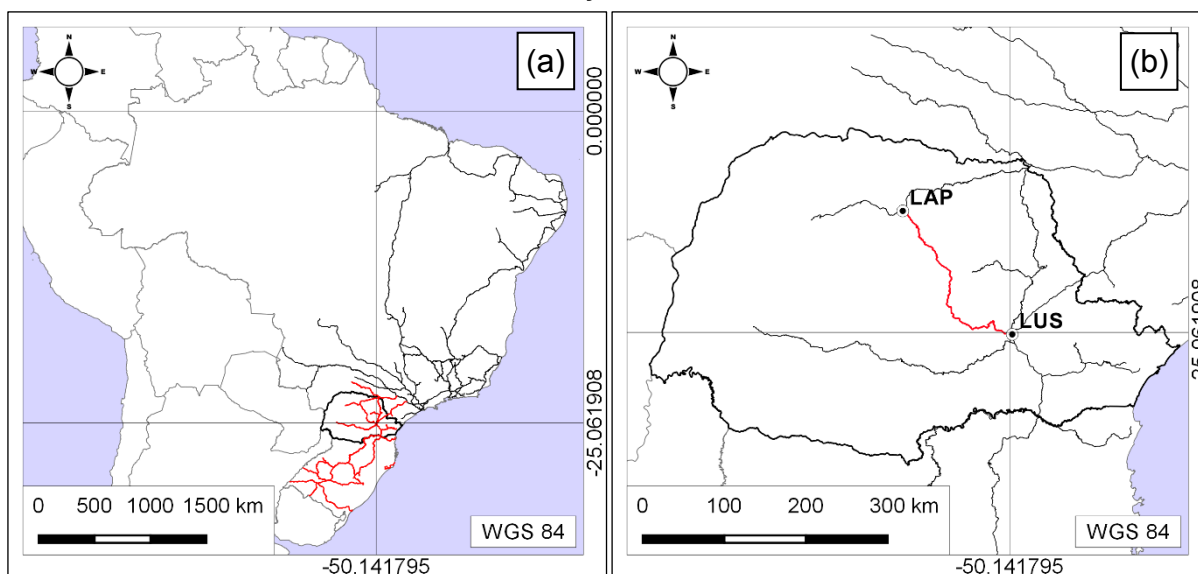


FONTE: O autor (2017).

Inicialmente, definiu-se como área de estudo, cuja localização é ilustrada na FIGURA 20, o entorno de um segmento de ferrovia adjacente ao bairro Santa Lúcia, no Município de Ponta Grossa, Estado do Paraná.

Tal segmento integra a Estrada de Ferro Central do Paraná, subtrecho entre os pátios ferroviários Uvaranas (código LUS, em Ponta Grossa) e Apucarana (código LAP, situado no município homônimo). Foi escolhido, dentre os mais de sete mil quilômetros existentes na malha ferroviária da Região Sul do Brasil, por sabidamente apresentar razoáveis adensamento populacional e frequência de passagens de trens, bem como por se tratar de um subtrecho em que locomotivas recém-fabricadas do modelo ES43BBi iniciaram a operar no ano de 2016, fato que deve se configurar como o início de uma fase de melhoria operacional no trecho.

FIGURA 20 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.



FONTE: O autor (2017).

LEGENDA: a) Frente às ferrovias do Brasil e à malha do Sul.

b) Frente ao subtrecho Uvaranas – Apucarana.

Ainda no subtrecho LUS-LAP, os pontos de medição e a área de estudo se situam, de maneira mais específica, no segmento entre os pátios ferroviários Uvaranas (LUS) e Piquitos (LPJ), cujos detalhes físicos, tal como o fato do aclave ser levemente mais pronunciado sentido LPJ/LAP, e operacionais (planejados para o ano de 2017) são apresentados na TABELA 14.

TABELA 14 – DETALHES FÍSICOS E OPERACIONAIS DO SEGMENTO ENTRE PÁTIOS LUS-LAP.

Segmento entre pátios		LUS - LPJ
km inicial		286,045
Extensão (km)		35,995
Bitola		Métrica
Raio mínimo de curva (m)		278
Rampa máxima/ sentido	LAP (%)	1,1
	LUS (%)	0,8
Demanda potência por tração auxiliar		Não
Circula produtos perigosos		Sim
Dias de operação/ ano		365
Capacidade (trens/ dia)	Instalada	22,34
	Vinculada	18,16
	Ociosa	4,18

FONTE: ANTT (2016).

De maneira mais específica, neste entorno da ferrovia foram definidos, por meio de critérios que atendem aos atualmente constantes no Anexo C da norma ISO

1996-2 (ISO, 2017), dois pontos de medição de níveis sonoros, e foi estabelecida uma área de estudo para mapeamento acústico estratégico.

Esta área é composta por nove subáreas referentes a setores censitários do Município de Ponta Grossa (código IBGE 4119905) imediatamente adjacentes e/ou nos quais se insere um segmento da ferrovia de 3.160 metros. Tal segmento é geograficamente limitado a leste (sentido LUS) pelo Arroio Pilão de Pedra e a oeste (sentido LAP) pelo Rio da Prancha, afluentes de margem direita do Rio Lajeado Grande, situado ao norte da área de estudo, que, pela existência dos rios, possui um relevo pronunciado e porções remanescentes florestais.

Enquanto os pontos de medição, com nomes e coordenadas, constam na TABELA 15, a TABELA 16 apresenta os objetivos de sua seleção e a TABELA 17 apresenta os códigos de cada setor censitário da área de estudo, com número de pessoas residentes, áreas (do setor e efetivamente residencial) e densidade demográfica, em hab/ km² de área residencial para cada setor. Na sequência, a FIGURA 21 ilustra os pontos de medição e a área de estudo, com indicações dos setores censitários, e rios mencionadas, curvas de nível e duas passagens em nível (PN) existentes, uma regular (da Av. Monteiro Lobato) e outra irregular, num local que não atende a requisitos técnicos de segurança e não aprovado pela ferrovia.

TABELA 15 – PONTOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS.

Ponto	Nome	Coordenadas (WGS84)	
		Longitude	Latitude
M01	Bairro Santa Lúcia	-50.141795°	-25.061908°
M02	PN Avenida Monteiro Lobato	-50.135884°	-25.059298°

FONTE: O autor (2017).

TABELA 16 – PONTOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS.

Ponto	Objetivo da seleção do ponto de medição
M01	Obter informações sonoras numa área residencial
	Obter informações com acurácia do som residual (na ausência de ruído ferroviário) de uma área residencial com poucas fontes sonoras antrópicas
	Obter informações com acurácia do som específico de eventos de passagem de trens de carga (claramente distinguível do som residual, com L_{ASmax} do evento, no mínimo, superior em 15 dB)
	Eliminar, com base em recomendações do Anexo E da ISO 1996-2 (ISO, 2017), sons intrusivos aos sons em consideração (outros tráfegos, indústria, atividades de lazer ou a própria buzina da locomotiva – por distância das PNs)
	Apresentar fácil acesso e inexistir obstruções do terreno e de edificações
M02	Obter informações com acurácia do som residual (na ausência de ruído ferroviário) nas proximidades da Av. Monteiro Lobato, expressiva fonte sonora na região
	Obter informações com acurácia do som específico de um evento de acionamento de buzina de locomotiva ao se aproximar da PN regular com a Av. Monteiro Lobato
	Apresentar fácil acesso e inexistir obstruções do terreno e de edificações

FONTE: O autor (2017).

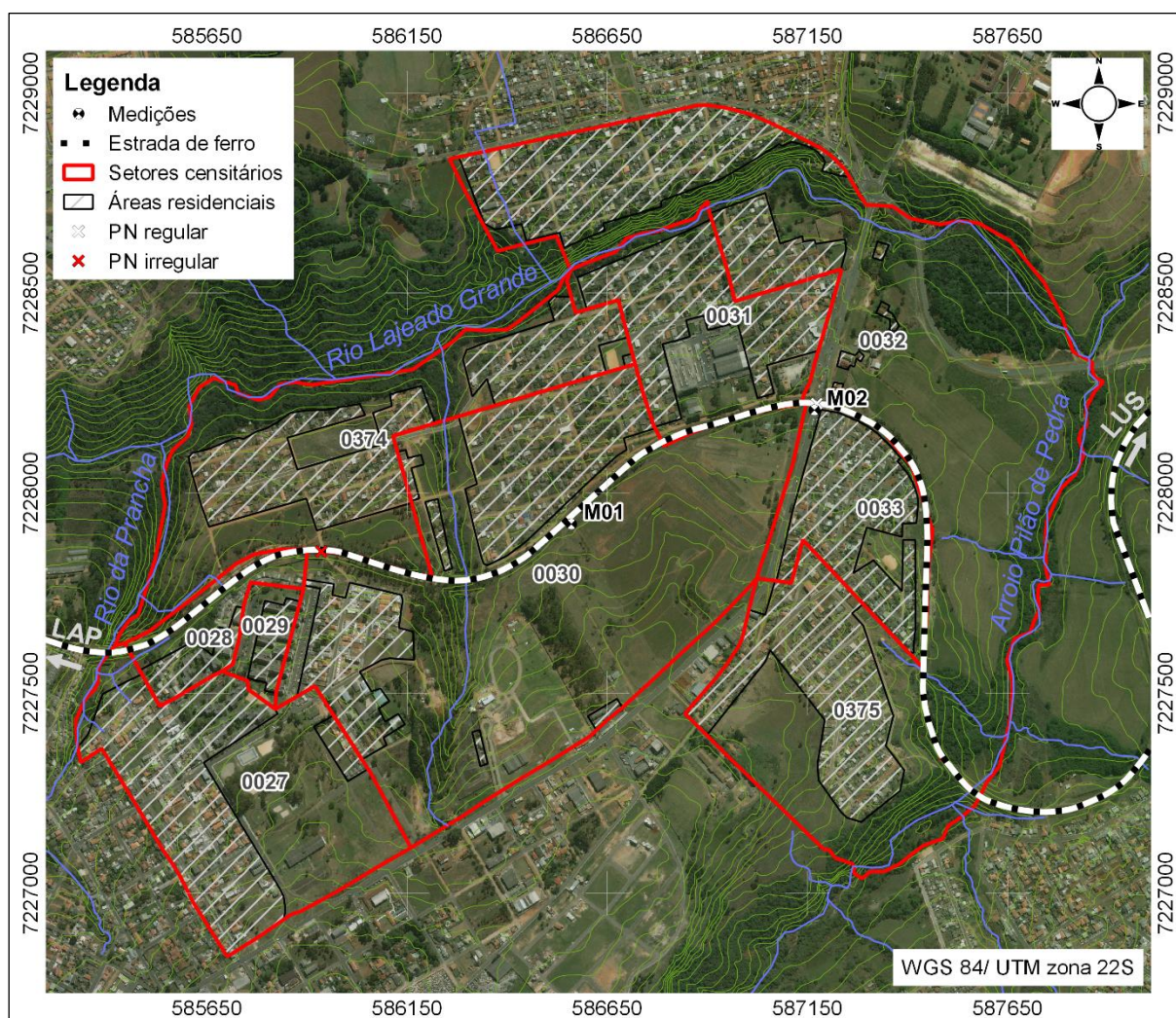
TABELA 17 – DETALHES DOS SETORES CENSITÁRIOS QUE COMPÕEM A ÁREA DE ESTUDO.

Código	Pessoas residentes		Áreas (km ²)		Densidade demográfica 2017 (hab/km ² de área residencial)
	2010 (censo)	2017 (estimada)	Total	Residencial	
0027	860	950	0,34	0,18	5.220,10
0028	519	573	0,07	0,02	24.148,56
0029	855	945	0,03	0,02	54.027,97
0030	731	808	0,86	0,22	3.705,88
0031	569	629	0,21	0,13	4.721,62
0032	1.247	1.378	0,84	0,21	6.448,42
0033	908	1.003	0,16	0,11	9.024,45
0374	837	925	0,39	0,17	5.357,03
0375	763	843	0,32	0,15	5.778,36
Total	7.289	8.054	3,22	1,22	-

FONTE: IBGE (2011).

NOTA: A estimativa de pessoas residentes em 2017 é análoga à estimativa do IBGE (2017) para toda a população da cidade de Ponta Grossa; as áreas residenciais foram obtidas por vetorização sobre ortofotos; e a densidade demográfica calculada com a população estimada e áreas vetorizadas.

FIGURA 21 – PONTOS DE MEDIÇÃO DE NÍVEIS SONOROS E SETORES CENSITÁRIOS QUE PERFAZEM A ÁREA DE ESTUDO PARA MAPEAMENTOS ACÚSTICOS.



Fonte: O autor (2017).

4.1 DENSIDADE DE TRÁFEGO E MATERIAL RODANTE

A densidade de tráfego foi obtida junto à concessionária da malha ferroviária da Região Sul do Brasil para o período entre 2012 e o fim do primeiro semestre de 2017.

Quanto a detalhes do material rodante (locomotivas e vagões), do comprimento e velocidade associados aos eventos de passagens de trens de carga cujos níveis sonoros foram medidos, levantou-se por meio de vídeo interpretação de cada uma das filmagens procedidas concomitantes às medições. Foram registrados códigos das locomotivas, a partir dos quais se obteve com a concessionária suas especificações (modelo, potência e ano de fabricação), e códigos referentes aos modelos dos vagões, que são únicos por tipologia de vagão.

4.2 MEDIÇÕES DE NÍVEIS SONOROS E TRATAMENTO DE DADOS

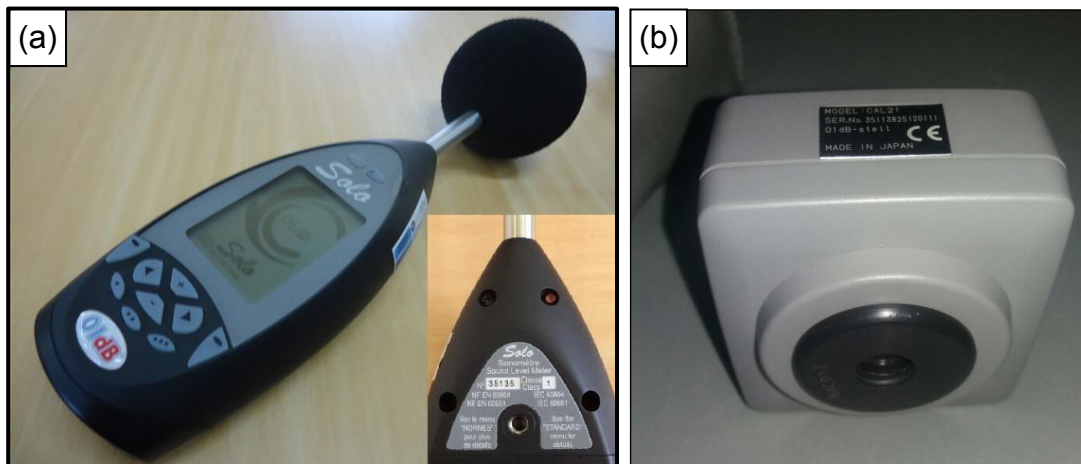
4.2.1 Equipamentos para medições e tratamento de resultados

Para medição de níveis de pressão sonora e tratamento de resultados, foi utilizado o seguinte conjunto de equipamentos⁷:

- Medidor de nível sonoro classe 1 da fabricante 01dB-Metravib, modelo Solo SLM Type 01, nº de série 35135 (FIGURA 22), conforme com a norma IEC 61672-1 para aplicação em campo livre, apropriado nos termos da ISO 1996-2 (ISO, 2017);
- Calibrador Acústico da fabricante 01dB-Metravib, modelo Cal21, nº de série 35113825/2011 (FIGURA 22), conforme com a norma IEC 60942/1997;
- Câmeras digitais NIKON P100 e GoPro HERO5 para gravação de vídeos em Full HD (1080p) ou melhor resolução;
- Software de aquisição e tratamento de dados dBTrait, versão 5.5.0 build 6 (Professional), da fabricante 01dB (FIGURA 23).

⁷ Cópias dos certificados de verificação laboratorial do medidor de nível sonoro classe 1 e do calibrador acústico, com intervalo inferior a 2 anos, são apresentadas em ANEXO 1.

FIGURA 22 – ANALISADOR SONORO E CALIBRADOR ACÚSTICO UTILIZADOS.

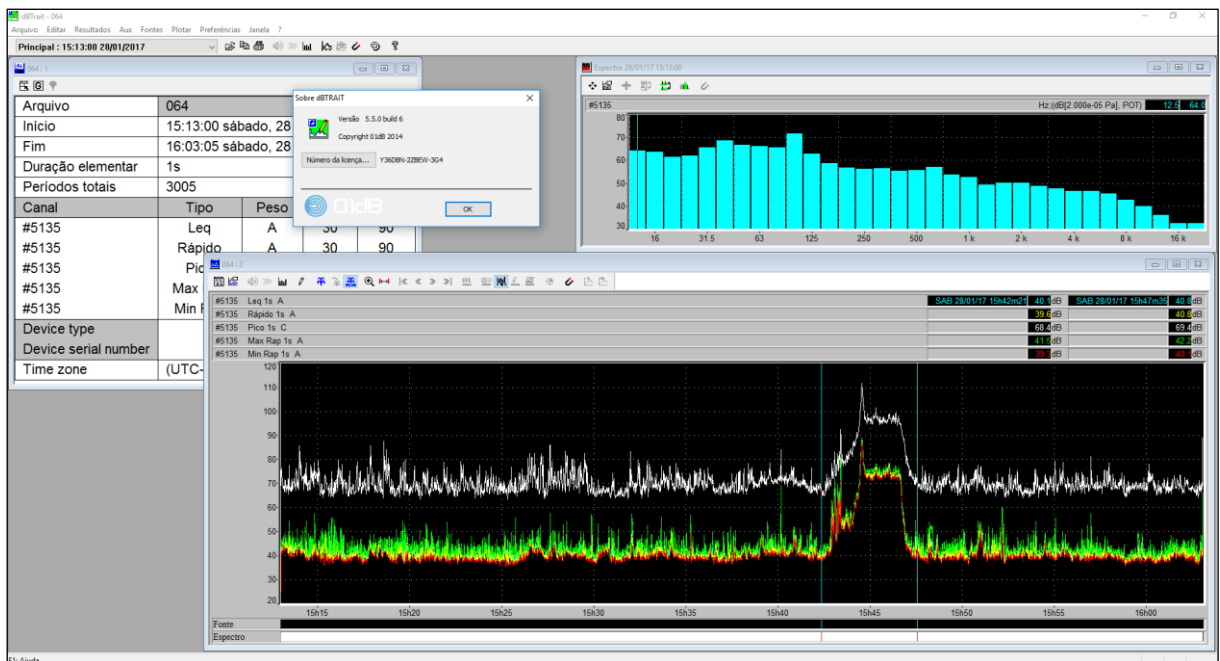


FONTE: O autor (2017).

LEGENDA: a) Medidor de nível sonoro classe 1.

b) Calibrador acústico.

FIGURA 23 – SOFTWARE DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DE DADOS UTILIZADO (DBTRAIT).



FONTE: O autor (2017).

4.2.2 Condições de medição

As medições de nível de pressão sonora foram executadas entre os meses de novembro de 2016 a junho de 2017, período representativo do tráfego ferroviário anual na área de estudo. Se deram com microfone posicionado a uma distância de 15

metros do eixo da ferrovia e a uma altura de 1,5 metros do terreno, relativamente plano nos dois pontos de medição definidos (M01 e M02).

Frente a locomotivas de altura média de 4,5 metros, tais medições se deram em condições de janela meteorológica muito favoráveis de propagação, minimizando a influência de condições de tempo, uma vez que a equação (7), dada por ISO (2017), é satisfeita com resultado de 0,4.

$$\frac{h_s + h_r}{D} \geq 0,1 \quad (7)$$

Onde:

h_s é a altura da fonte, em metros;

h_r é a altura de medição (receptor), em metros;

D é a distância horizontal entre a fonte e o receptor, em metros.

Além disso, as medições se deram:

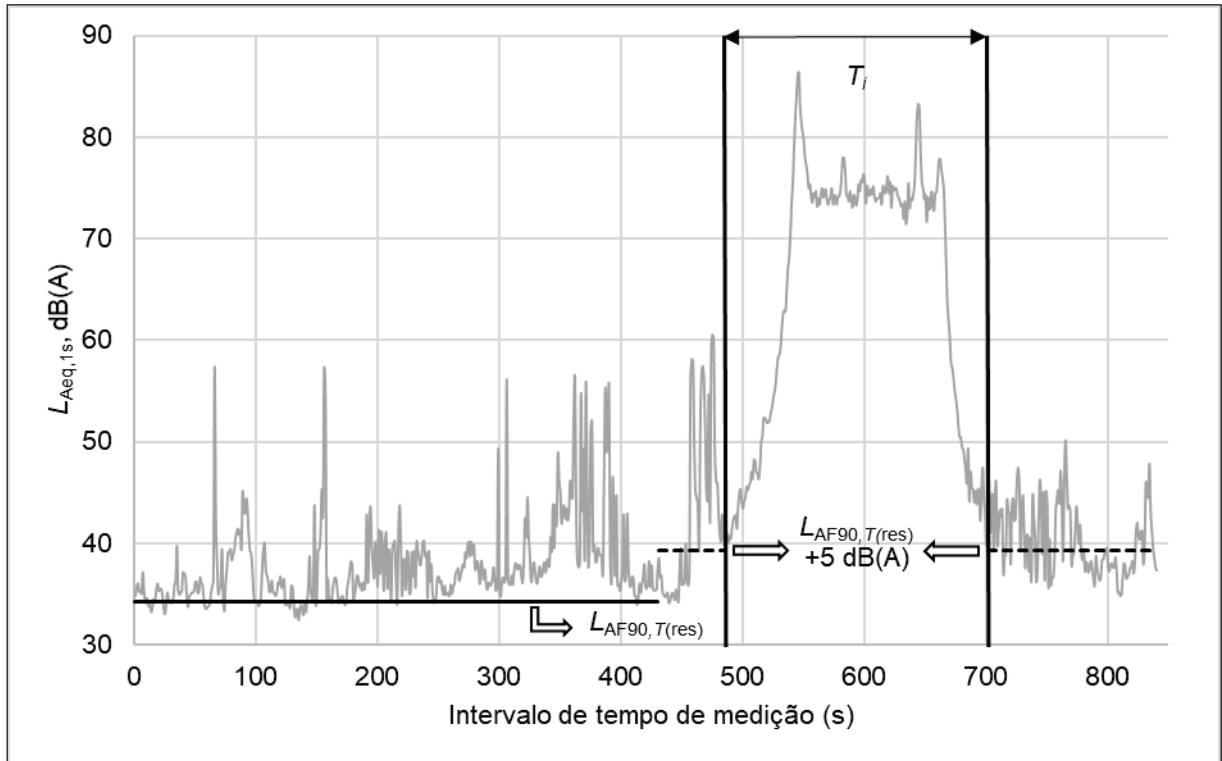
- Em campo livre, distante mais de 2 m de quaisquer superfícies refletoras (fachadas e obstáculos);
- Com calibrações *in situ* prévias e posteriores a cada conjunto de medições;
- Com ponderação temporal rápida (*fast*);
- Com ponderação A e filtro 1/3 oitava.

O som residual foi caracterizado por meio de medições de L_{Aeq} com intervalo de tempo de integração T de 15 minutos para caracterização do som residual, denotadas como $L_{Aeq(res),15min}$, com base em referências que utilizam este intervalo para avaliar o ruído ambiental (KING; RICE, 2009; ROMEU et al., 2011; ZANNIN et al., 2013).

Denotado como $L_{Aeq,T_i(trem)}$, o som específico do i -ésimo evento de passagem de trem de carga foi caracterizado por meio de medições de L_{Aeq} durante intervalos de medição variando entre 10 e 75 minutos de aguardo da efetiva passagem, com intervalo de tempo de integração T_i também variável em função da detecção *in situ* e registro do preciso instante no medidor sonoro em que o resultado sequencial de $L_{Aeq,1s}$ se torna (e, posteriormente, deixa de ser) claramente distinguível do som

residual. O valor de $L_{Aeq,1s}$ associado a esta detecção coincide com um valor superior ao $L_{AF90,T(res)}$ em 5 dB(A), conforme ilustra a FIGURA 24.

FIGURA 24 – INTERVALO DE TEMPO DE INTEGRAÇÃO DA I-ÉSIMA PASSAGEM DE TREM DE CARGA.



FONTE: O autor (2017).

Por fim, da mesma maneira o som específico gerado pelo acionamento da buzina, denotado como $L_{Aeq(buzina),T_i}$, também se deu por meio de medições de L_{Aeq} durante um intervalo de medição de aguardo da efetiva passagem de trem de carga e acionamento da buzina superior intervalo de tempo de integração T_i também variável em função da detecção da representatividade da buzina ao longo do histórico no tempo.

Enquanto a TABELA 18 resume os números e tipos de medições em cada ponto, a FIGURA 25 ilustra as condições de medição adotadas com exemplos de medição de $L_{Aeq(trem),T_i}$ no ponto M01, enquanto a FIGURA 26 ilustra medições do $L_{Aeq(res),15min}$ no ponto M02.

TABELA 18 – NÚMEROS E TIPOS DE MEDIÇÕES EM CADA PONTO.

Ponto	Período	$L_{Aeq(res),15min}$	$L_{Aeq(trem),T_i}$	$L_{Aeq(buzina),T_i}$
M01	Diurno	1	20	-
	Entardecer	1		
	Noite	1	-	-
M02	Diurno	1	-	1
	Entardecer	1		-
	Noite	1		-

Fonte: O autor (2017).

FIGURA 25 – MEDIÇÕES DO SOM ESPECÍFICO DA PASSAGEM DE TRENS DE CARGA NO M01.



Fonte: O autor (2016).

FIGURA 26 – MEDIÇÕES DO SOM RESIDUAL NO M02.



Fonte: O autor (2017).

4.2.3 Tratamento de resultados

Realizadas as medições de níveis sonoros, procedeu-se à descarga dos dados por meio do *software dBTrait*. Os dados foram segregados entre representativos do som residual (na ausência de ruído ferroviário) e representativos

dos sons específicos gerados pela passagem de trens de carga ou pelo acionamento da buzina.

4.2.3.1 Som residual

Daqueles registros de medições na ausência do ruído gerado pelo trem, procedeu-se à extração, por meio do *software*, dos seguintes níveis e indicadores:

$$L_{Aeq(res),15min}; L_{Amax}; L_{A10,T_{res}}, L_{A50,T_{res}}, L_{A90,T_{res}} \text{ e } L_{Amin}$$

4.2.3.2 Som específico de eventos de passagem de trens de carga

Uma segunda etapa foi, então, a obtenção de cada um dos 20 resultados de medição de $L_{Aeq(trem),T_i}$ mediante pós processamento considerando apenas o evento de passagem.

Feito isto, com base em anotações de campo e nas filmagens, procedeu-se, no ambiente do *dBTrait*, à segmentação manual dos registros ao longo do tempo durante os eventos de passagens de trens em quatro tipologias principais de contribuições sonoras para obtenção de sua parcela de energia percentual e seu L_{Aeq} parcial: locomotiva(s); buzina; vagões e roda-trilho.

Por fim, ainda com respeito ao tratamento dos registros, também por meio do *software* procedeu-se à eliminação dos registros de acionamento de buzina, que não eram esperados para as medições no M01, em prol do conhecimento da magnitude da melhoria no receptor.

Feitos todos estes tratamentos, retornou-se aos resultados de $L_{Aeq(trem),T_i}$ ou apenas L_i para cálculo das médias logarítmicas $L_{k(20trens)}$, referente à amostra global, e $L_{k(6trens)}$, referentes aos L_i com os três menores valores registrados para cada sentido de tráfego (LUS ou LPJ/LAP).

4.2.3.3 Som específico de acionamento de buzina de trem

Mediante pós processamento, obteve-se $L_{Aeq,T_i(buzina)}$ considerando apenas o evento de passagem.

4.2.3.4 L_{den} do som residual

Para cálculo do nível sonoro dia-entardecer-noite referente ao som residual, $L_{den(res)}$, nos receptores M01 e M02, os $L_{Aeq,15min(res)}$ medidos em horários inseridos nos períodos diurno, entardecer e noturno foram tomados diretamente como L_d , L_e e L_n , respectivamente, e procedeu-se ao cálculo por meio da equação (5).

4.2.3.5 L_{den} do som total, com ruído ferroviário

Para cálculo do nível sonoro dia-entardecer-noite L_{den} referente ao som total, incluindo os sons específicos do ruído ferroviário, primeiramente procedeu-se ao cálculo, por meio da equação (4), do $L_{RAeq,T}$ para o intervalo de integração referente aos períodos completos.

Para o receptor M01 compuseram o cálculo os $L_{Aeq,15min(res)}$ medidos em horários inseridos nos períodos diurno, entardecer e noturno e o $L_{k(20trens)}$, com períodos de integração T_{nj} para as parcelas dos períodos sem e com ruído ferroviário. Já para o receptor M02 compuseram $L_{Aeq,15min(res)}$, $L_{k(20trens)}$ e $L_{Aeq,T_i(buzina)}$.

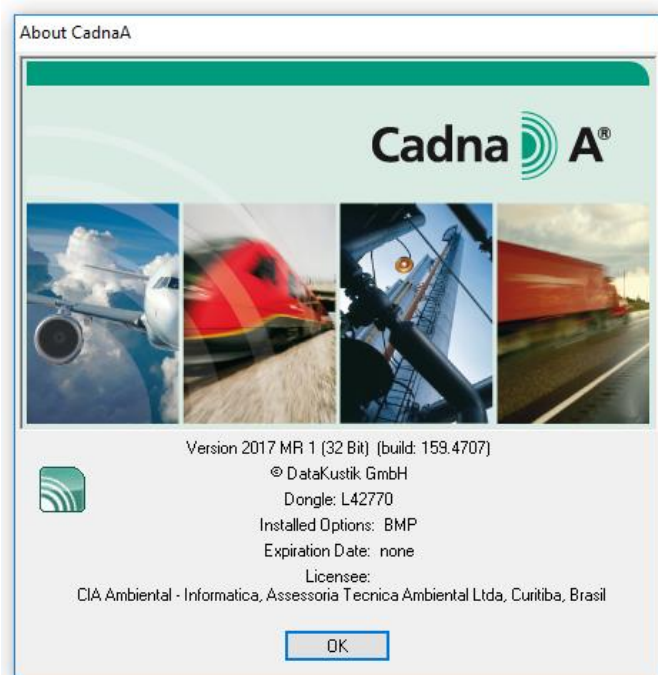
O $L_{RAeq,12h}$, $L_{RAeq,4h}$ e $L_{RAeq,8h}$, representativos do L_d , L_e e L_n , respectivamente, serviram ao cálculo do $L_{den(total)}$ por meio da equação (5).

4.3 MAPEAMENTO ACÚSTICO

4.3.1 Métodos de cálculo e dados para predição

Para o mapeamento acústico deste estudo, utilizou-se o *software Computer Aided Noise Abatement* (CadnaA), referência internacional para cálculo, apresentação, avaliação e predição de ruído ambiental (FIGURA 27).

FIGURA 27 - CERTIFICADO DE LICENÇA DO MODELO DE PROPAGAÇÃO ACÚSTICA CADNAA.



FONTE: O autor (2017).

O CadnaA, na versão utilizada (2017 MR 1 - 32 Bit), permite a predição acústica para as bandas de oitava de frequências centrais de 31,5 Hz até 8000 Hz. Dentre os principais métodos de cálculo implementados, serviram a este estudo:

- Para o ruído industrial: ISO 9613-2: *Acoustics — Attenuation of sound propagation outdoors, Part 2: General method of calculation*;
- Para o ruído do tráfego rodoviário: O método de cálculo proposto pela norma alemã RLS-90;
- Para o ruído do tráfego ferroviário: O método de cálculo nacional dos Países Baixos *Reken-en Meetvoorschrift Railverkeerslawaa*i (SRM II).

4.3.2 Cenários de mapeamento acústico

Nos estudos de mapeamento acústico comumente busca-se parametrização com a inserção das principais fontes sonoras atuantes, conhecidas previamente ou observadas na ocasião do monitoramento, em busca da criação de um cenário no modelo cujos resultados sejam condizentes com aqueles observados nas medições de campo.

A potência sonora, predita pelos métodos de cálculo específicos para as principais fontes, é a principal variável de entrada ao cálculo da propagação acústica, que no modelo sempre se dá através da consideração conjunta de todos os fenômenos de atenuação considerados pela ISO 9613-2 (ISO, 1996).

Foram definidos, ao todo, seis diferentes cenários de mapeamento acústico, sendo dois de diagnóstico, para fins de calibração com dados medidos e conhecimento da situação atual, e cinco puramente de planejamento acústico.

A calibração se deu por ajustes na parametrização e sucessivos cálculos, conforme recomendação *European Commission Working Group – Assessment of Exposure to Noise* (WG-AEN, 2006), para que os valores observados e preditos apresentassem incerteza esperada inferior ao valor recomendado por Licitra e Memoli (2008), de 4,6 dB(A).

Dentre os dois cenários de diagnóstico, após calibração do mapeamento, o mapa acústico estratégico do som residual serve também ao planejamento acústico, com a premissa hipotética de controle do ruído por meio da execução de um contorno ferroviário.

Todos os cenários foram preparados para prever os níveis sonoros de período completo L_d , L_e , L_n e L_{den} para os mesmos períodos definidos para a equação (5): T_d das 6h00 às 18h00; T_e das 18h00 às 22h00; e T_n das 22h00 às 6h00. A seguir, cada um dos cenários é mais bem detalhado, partindo do som residual, que é a base do mapeamento acústico na área de estudo.

4.3.2.1 Som residual

O cenário de mapeamento acústico do som residual apresenta os seguintes parâmetros físicos comuns aos outros cinco:

- Área de estudo/ cálculo: 3,22 km²;
- Grade de cálculo: 5 x 5 metros;
- Altura da grade de cálculo: 4 metros;
- Altura dos receptores: 1,5 metros;
- Superfície: suave, com coeficiente de absorção do terreno $G=1$;
- Atenuação: espectral, todas as fontes;
- Temperatura: 20 °C (dentro de 0, 10 e 20 °C);
- Umidade relativa: 70 % (dentro de 50, 70 e 90%);
- Relevo: a partir de curvas de nível de 5 em 5 metros;
- Vegetação: 18 fragmentos florestais importados do *OpenStreetMap* e ajustadas quanto à geometria ou vetorizadas a partir de imagens de satélite, com altura arbitrada de 4,5 metros de altura para vegetação nativa e 15 metros de altura para exóticas (eucaliptos);
- Edificações: 2.542 edificações vetorizadas a partir de imagens de satélite, com alturas arbitradas de 3 metros de altura por pavimento;
- Barreira acústica: um muro 780 metros de extensão e 3 metros de altura aos fundos do Conjunto Habitacional Monteiro Lobato (cuja elevação é aventada em dois cenários de planejamento acústico).

FIGURA 28 – MURO AOS FUNDOS DO CONJUNTO HABITACIONAL QUE ATUALMENTE JÁ SE CONFIGURA COMO BARREIRA FÍSICA DE 3 METROS DE ALTURA.



FONTE: O autor (2017).

Como fontes sonoras comuns ao cenário do som residual e também aos demais:

- Estradas/ vias urbanas: 227 segmentos de estradas/ vias urbanas importadas do *OpenStreetMap* e ajustadas, caso a caso quanto: à geometria, pavimento, quanto à classificação⁸ e quanto ao volume de tráfego⁹;
- Fontes sonoras superficiais, em área: sob 10 fragmentos de vegetação referentes às matas ciliares do Rio da Prancha, do Arroio Pilão de Pedra e Rio Lajeado Grande, foram arbitradas para representar sons naturais (ex. anuros) provenientes da vegetação com potência sonora também arbitrada em 76 dB(A) por unidade de área para os períodos entardecer e noturno (validada mediante calibração constante em resultados).

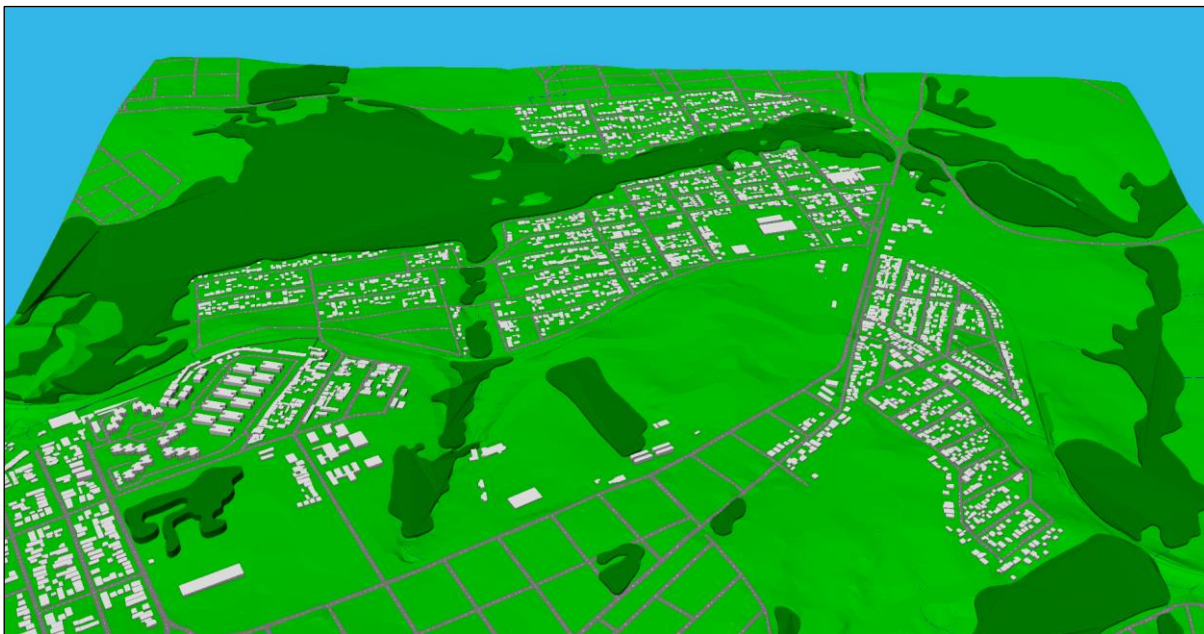
A seguir, a FIGURA 29 apresenta uma visão geral da parametrização do cenário de mapeamento acústico do som residual, enquanto a FIGURA 30 ilustra

⁸ *Residential* e *primary* foram reclassificadas como vias particulares, locais e coletoras, com limite de velocidade de 40 km/h, e arteriais, com limite de velocidade de 60 km/h.

⁹ O volume de tráfego foi definido caso a caso, arbitrado para as vias particulares, locais e coletoras (entre 24 e mais de 5.700 veículos/dia distribuídos nos períodos) e com resultados de contagem expedita concomitante às medições de $L_{Aeq,T(res)}$ no ponto M02 para a Av. Monteiro Lobato, com mais de 17.000 veículos/ dia distribuídos nos períodos.

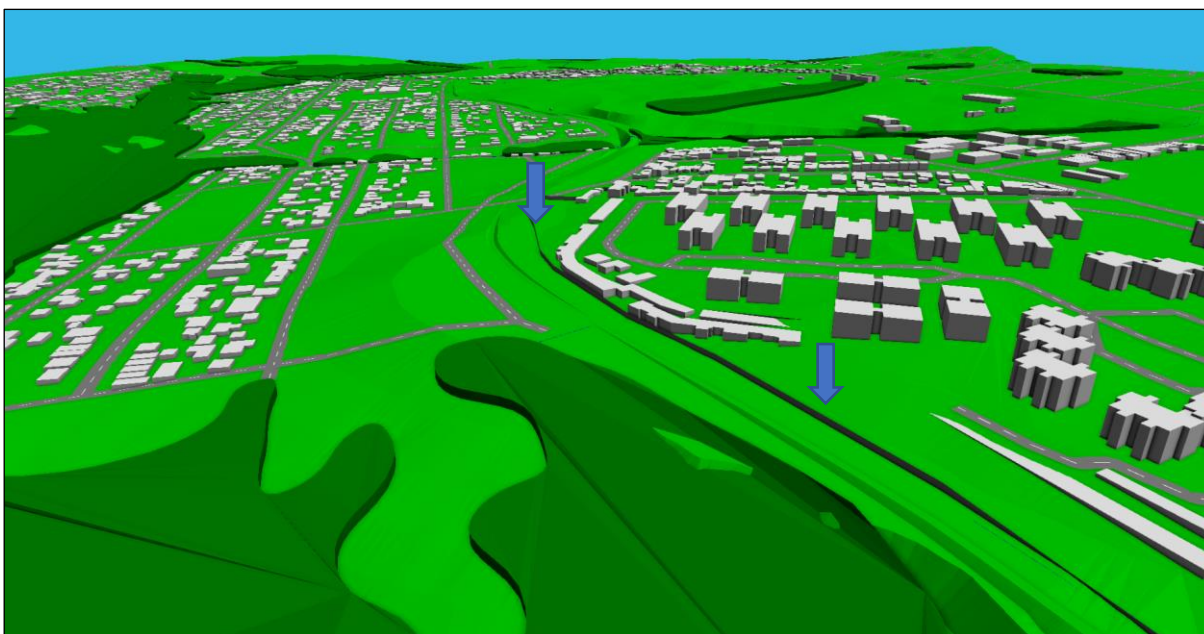
detalhes do muro aos fundos do conjunto habitacional que atualmente já se configura como barreira física.

FIGURA 29 – ILUSTRAÇÃO TRIDIMENSIONAL DO CENÁRIO SOM RESIDUAL.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 30 – DETALHE DO MURO AOS FUNDOS DO CONJUNTO MONTEIRO LOBATO.



FONTE: O autor (2017).

4.3.2.2 Som total, com ruído ferroviário

No cenário de mapeamento acústico de diagnóstico da situação atual, com a ferrovia em operação, somam-se aos demais parâmetros do cenário do som residual:

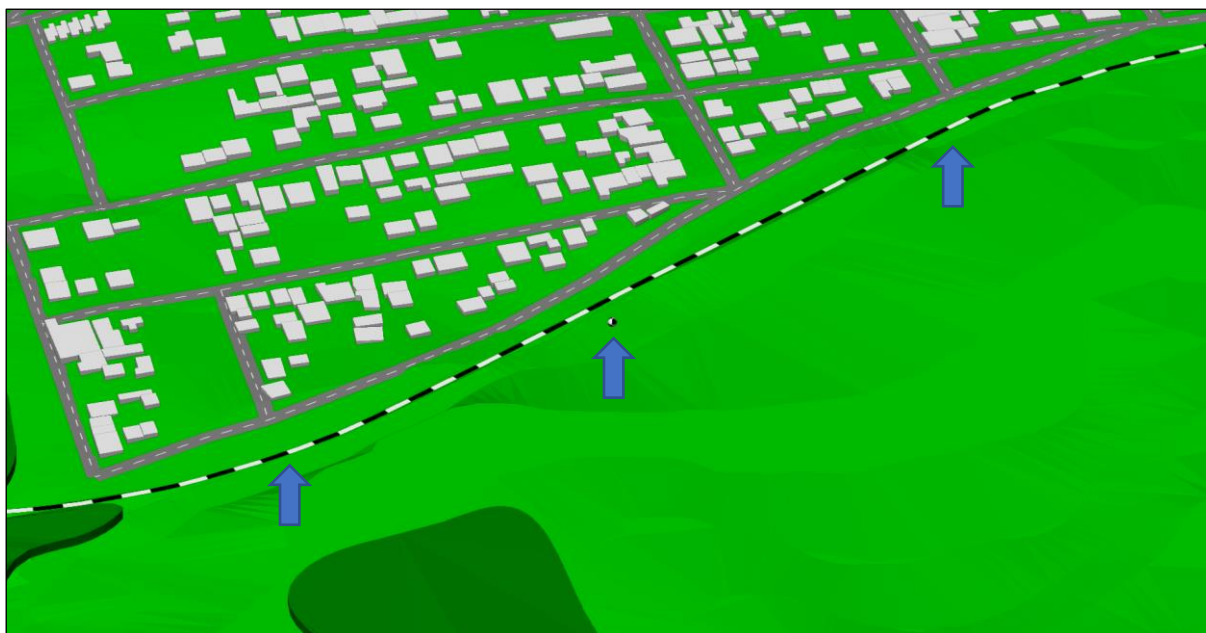
- Estrada de ferro: com 3.160 metros de extensão, com parametrização fiel às médias diárias anuais de tráfego obtidas junto à operadora ferroviária e outros parâmetros constatados em campo (dormentes de madeira, trilhos com juntas e paridade arbitrada de 50% de veículos freando em ambos os sentidos) ou obtidos por meio das medições (ex. velocidade), conforme consta na TABELA 19 e ilustra a FIGURA 31;
- Fontes sonoras lineares (representativas do acionamento de buzina): dois segmentos de geração de ruído linear numa extensão de 200 metros em cada sentido de cada uma das PNs e altura de 4,6 metros, com potência sonora de 115 dB(A) por unidade linear (validada mediante calibração).

TABELA 19 – TIPOS DE CLASSES DE TRENS E NÚMEROS DE VEÍCULOS NO CENÁRIO DO SOM TOTAL, COM RUÍDO FERROVIÁRIO.

Tipo de classe de trem	Número de veículos/ período			v	Freando
	Diurno	Entardecer	Noite	km/h	%
C05 (Locomotiva a Diesel)	15	5	10	32	50
C04 (Vagão de carga)	563	188	375	32	50

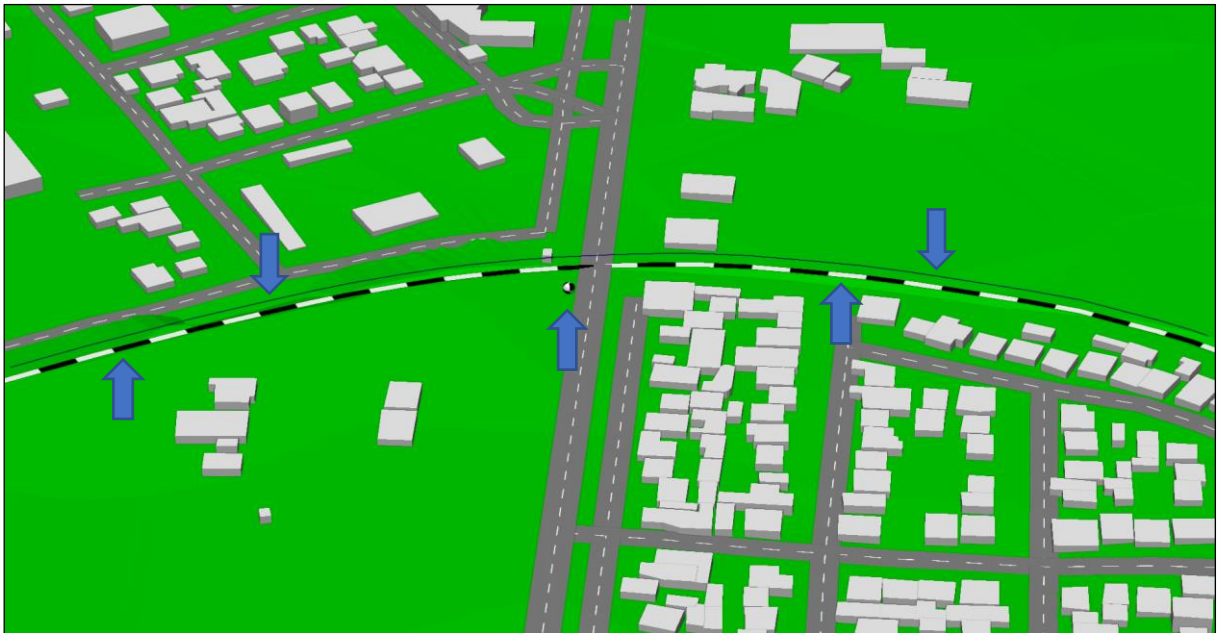
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 31 - DETALHE DA FERROVIA E DO RECEPTOR M01 NO CENÁRIO DO SOM TOTAL.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 32 - DETALHE DA FERROVIA, DA FONTE LINEAR SOBRE ELA E DO RECEPTOR M02 NO CENÁRIO DO SOM TOTAL.



FONTE: O autor (2017).

4.3.2.3 Eliminação da necessidade de acionamento da buzina

Mediante situação hipotética de uma obra de engenharia que eliminasse a necessidade de acionamento, tal como um viaduto rodoviário (não representado como elemento obstáculo), este cenário é análogo ao do som total, com desconsideração do som específico da buzina.

4.3.2.4 Instalação de barreiras acústicas de 4,5 metros

O referido cenário de mapeamento acústico tem a mesma base do cenário som total com inserção cinco segmentos perfazendo um total de 2.930 metros de barreiras acústicas de 4,5 metros de altura a 15 metros de distância do eixo da linha férrea, junto ao limite de sua faixa de domínio, estritamente nos lados de maior adensamento residencial.

Adicionalmente, prevê também a elevação do muro do Conjunto Monteiro Lobato de 3 para 4,5 metros de altura ao longo de seus 780 metros de extensão, totalizando 3.710 metros de extensão de barreiras acústicas junto às laterais habitadas do segmento de 3.160 metros de linha férrea inserido na área de estudo.

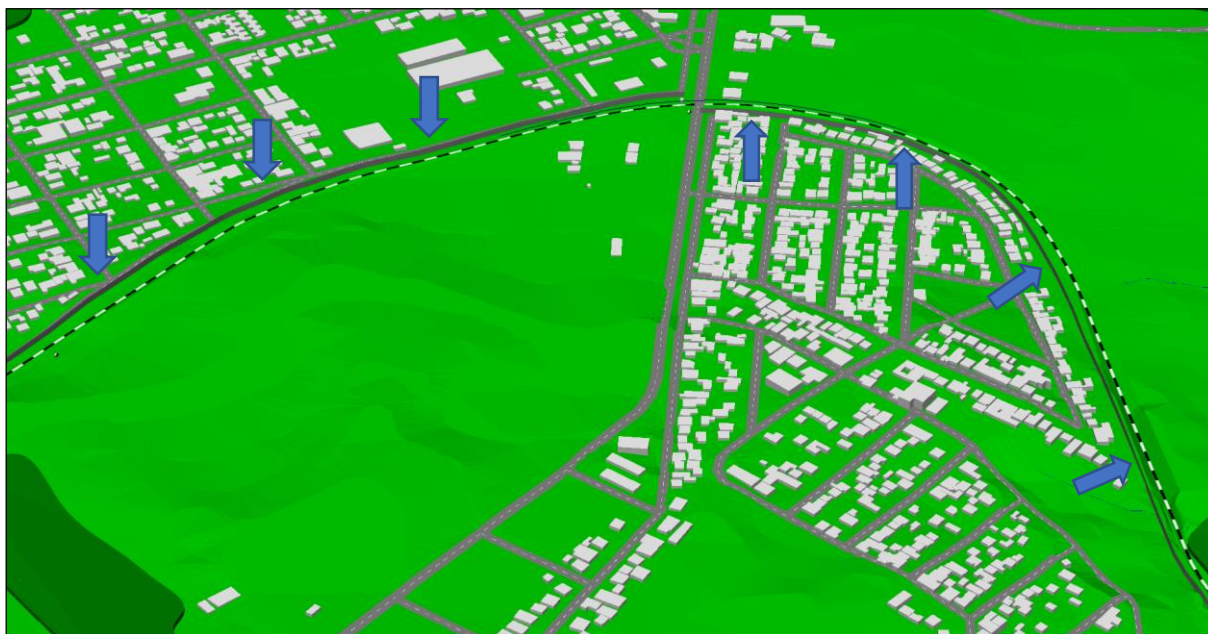
A seguir, a FIGURA 33 e a FIGURA 34 ilustram, com indicações, as barreiras acústicas.

FIGURA 33 - DETALHE DAS BARREIRAS ACÚSTICAS (PORÇÃO OESTE DA ÁREA DE ESTUDO).



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 34 - DETALHE DAS BARREIRAS ACÚSTICAS (PORÇÃO LESTE DA ÁREA DE ESTUDO).



FONTE: O autor (2017).

4.3.2.5 Instalação de barreiras acústicas de 6 metros

Cenário de mapeamento acústico análogo ao anterior, com elementos obstáculos de 6 metros de altura.

4.3.2.6 Otimização operacional

Cenário de mapeamento acústico análogo ao de diagnóstico do com total, com ruído ferroviário, com alterações hipotéticas nas características operacionais,

como diminuição para média de 2 locomotivas/ trem, diminuição da velocidade para 25 km/h e da parcela freando para 20% (TABELA 20), bem como a substituição de trilhos com juntas por trilhos longos soldados.

TABELA 20 – TIPOS DE CLASSES DE TRENS E NÚMEROS DE VEÍCULOS NO CENÁRIO DE OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.

Tipo de classe de trem	Número de veículos/ período			v	Freando
	Diurno	Entardecer	Noite	km/h	%
C05 (Locomotiva a Diesel)	13	4	9	25	20
C04 (Vagão de carga)	563	188	375	25	20

FONTE: O autor (2017).

Tal cenário hipotético visa resultar no ponto M01 a média logarítmica das 3 passagens de trens de carga em cada sentido de tráfego cujos L_{Aeq,T_i} (ou apenas L_i) foram os menores registrados dentre 20 medidos.

4.3.3 Apresentação de resultados

Enquanto para os cenários de diagnóstico, são apresentados de mapas acústicos estratégicos referentes aos resultados de L_d , L_e , L_n e L_{den} , para os cenários de planejamento acústico são apresentados apenas aqueles referentes aos indicadores mais relacionados com distúrbios no sono e com o incômodo, o L_n e o L_{den} , respectivamente.

Graficamente, são apresentados com classes de cores conforme a Norma DIN 18005-2 para as seguintes faixas de níveis sonoros:

- < 35 dB(A);
- 35 – 80 dB(A), em faixas de 5 dB(A);
- > 80 dB(A).

Num segundo momento, os resultados calculados em grade (5 x 5 m) são exportados em *shapefile* (.shp) e trabalhados em ambiente de *software* livre (QGIS) para cálculo de áreas residenciais expostas a faixas de níveis L_d , L_e , L_n e L_{den} para os cenários de diagnóstico (som residual e som total, incluindo o ruído ferroviário) e de L_n e o L_{den} para os cenários de planejamento acústico.

Tais resultados são apresentados por meio de tabelas com estimativas de quantidades de residentes expostos a determinadas faixas de níveis sonoros, bem

como o percentual de diminuição da exposição ao ruído ambiental, em termos de número de residentes, mediante a adoção das estratégias de planejamento acústico estudadas. Nas referidas tabelas, os resultados são agrupados nas seguintes faixas de níveis sonoros:

- L_d, L_e, L_n : < 40 dB(A); 40 – 70 dB(A), em faixas de 5 dB(A); > 70 dB(A);
- L_{den} : <45 dB(A); 45 – 75 dB(A), em faixas de 5 dB(A); > 75 dB(A).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medições de níveis sonoros em campo foram realizadas entre os meses de novembro de 2016 a junho de 2017 nos dois locais de medição estabelecidos, M01 e M02. Seus resultados, de avaliação do tráfego e do material rodante, bem como os níveis, em si, são apresentados e discutidos de maneira sequencial, conforme metodologia proposta.

5.1 DENSIDADE DE TRÁFEGO E MATERIAL RODANTE

5.1.1 Densidade de tráfego no segmento entre pátios LUS-LPJ

A partir de dados operacionais do tráfego de trens de carga no segmento ferroviário inserido na área de estudo, entre os pátios Uvaranas (LUS) e Piriquitos (LPJ) no subtrecho de Uvaranas a Apucarana (LUS – LAP) da Estrada de Ferro Central do Paraná, obteve-se a média diária anual da quantidade de trens nos dois sentidos.

Conforme apresenta a TABELA 21, as médias nos últimos cinco anos atingiram 16,4 trens por dia em 2015 e no período anual a que se referem as medições de níveis sonoros do presente estudo (segundo semestre de 2016 e primeiro semestre de 2017) se apresentaram em 13,7 trens por dia. Se tratam de tráfegos médios diários anuais superiores média planejada para a Região Sul do Brasil em 2017, de 10,7 trens/ dia (ANTT, 2016), o que é reflexo da relevância do trecho, de interligação entre o interior do Estado do Paraná e o Porto de Paranaguá.

TABELA 21 – QUANTIDADES ANUAIS DE TRENS, MÉDIAS DIÁRIAS ANUAIS E PARTIÇÃO POR PERÍODOS.

Ano	Trens	Trens/ dia	Trens/ período		
			Diurno	Entardecer	Noturno
2012	5607	15,4	7,7	2,6	5,1
2013	5567	15,3	7,6	2,5	5,1
2014	5567	15,3	7,6	2,5	5,1
2015	5975	16,4	8,2	2,7	5,5
2016	5029	13,8	6,9	2,3	4,6
2016/17	5003	13,7	6,9	2,3	4,6

FONTE: RUMO (2017).

NOTA: 2016/17 se refere ao segundo semestre de 2016 e primeiro semestre de 2017.

5.1.2 Material rodante registrado nas passagens de trens de carga

Os trens de carga cujo ruído gerado pela passagem foi objeto de medição e análise neste estudo apresentaram configuração de formação com variação entre duas e quatro locomotivas por trem, conforme apresenta a TABELA 22. Ao todo, foi observado um total de 46 locomotivas nas 20 passagens de trens tracionados por 1 a 4 locomotivas e média de 2,3 locomotivas por trem (TABELA 23).

Além disso, por meio de anotações em campo e análise de filmagens, foi registrada ao longo das medições de $L_{Aeq(trem),T_i}$ durante passagens de trens a predominância de três modelos de locomotivas, Dash 9-40BBW (D9BB), ES43BBi e SD40. Tais detalhes são também apresentados por meio da TABELA 22 e da TABELA 23, estando alguns exemplos destes três modelos de locomotivas ilustrados por meio da FIGURA 35 (D9BB), da FIGURA 36 (ES43BBi) e da FIGURA 37 (SD40).

TABELA 22 – LOCOMOTIVAS REGISTRADAS EM CADA PASSAGEM E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.

(continua)

Medição	Locomotiva	Código	Potência (hp)	Ano de fabricação	Idade
#01	ES43BBi	8327	4.300	2016	1
	ES43BBi	650	4.300	2016	1
#02	D9BB	9579	3.990	2012	5
	D9BB	8314	3.990	2012	5
	D9BB	8311	3.990	2012	5
	ES43BBi	642	4.300	2016	1
#03	ES43BBi	8325	4.300	2016	1
	ES43BBi	8329	4.300	2016	1
#04	SD40	9495	3.000	1978	39
	SD40	9502	3.000	1978	39
#05	D9BB	8309	3.990	2012	5
	D9BB	8300	3.990	2012	5
	D9BB	8312	3.990	2012	5
#06	ES43BBi	645	4.300	2016	1
	ES43BBi	641	4.300	2016	1
#07	SD40	9491	3.000	1972	45
	SD40	9518	3.000	1978	39
#08	SD40	9457	3.000	1972	45
	SD40	9454	3.000	1972	45
	SD40	9490	3.000	1975	42
	SD40	9473	3.000	1974	43
#09	SD40	9525	3.000	1977	40
	SD40	9499	3.000	1970	47
#10	ES43BBi	8329	4.300	2016	1
	ES43BBi	8325	4.300	2016	1

TABELA 22 - LOCOMOTIVAS REGISTRADAS EM CADA PASSAGEM E PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS.

(conclusão)

Medição	Locomotiva	Código	Potência (hp)	Ano de fabricação	Idade
#11	SD40	9494	3.000	1978	39
	SD40	9463	3.000	1976	41
#12	ES43BBi	649	4.300	2016	1
	ES43BBi	8326	4.300	2016	1
	GT18MC	8210	1.555	1974	43
	GT18MC	8214	1.555	1974	43
#13	D9BB	9579	3.990	2012	5
	D9BB	9577	3.990	2012	5
#14	ES43BBi	8326	4.300	2016	1
	ES43BBi	649	4.300	2016	1
	C30	7605	3.000	1977	40
#15	SD40	9533	3.000	1979	38
	ES43BBi	650	4.300	2016	1
#16	SD40	9520	3.000	1978	39
	SD40	9523	3.000	1978	39
#17	ES43BBi	651	4.300	2016	1
	ES43BBi	666	4.300	2016	1
#18	ES43BBi	654	4.300	2016	1
	ES43BBi	667	4.300	2016	1
#19	ES43BBi	665	4.300	2016	1
#20	D9BB	8307	3.990	2012	5
Valor mínimo			1.555	1970	1
Valor máximo			4.300	2016	47
Valor médio			3.668	1999	18

FONTE: O autor (2017).

TABELA 23 – RESUMO QUANTITATIVO DE LOCOMOTIVAS REGISTRADAS DURANTE AS 20 MEDIÇÕES DE NÍVEIS DE RUÍDO DE PASSAGENS DE TRENS.

Modelos de locomotivas	Registros
C30	1
D9BB	9
ES43BBi	19
GT18MC	2
SD40	15
Total Geral	46
Média de locomotivas/ trem	2,3

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 35 – LOCOMOTIVAS MODELO DASH 9-40BBW.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 36 – LOCOMOTIVAS MODELO ES43BBI.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 37 – LOCOMOTIVAS MODELO SD40.



FONTE: O autor (2017).

Com respeito a vagões, conforme é apresentado na TABELA 24, ao longo das 20 medições registrou-se um total de 1.643 vagões, com quantidades variando entre

65 e 107 vagões/ trem e média de 82,2 vagões/ trem. Trata-se de uma média superior às médias anuais nacionais de 2011 a 2014 (CNT, 2015) e às médias anuais previstas para o ano de 2017 para todo o Brasil e para a Região Sul (ANTT, 2016), o que sugere que o trecho em estudo experimenta um processo de otimização operacional em termos de eficiência relacionada ao comprimento das composições ferroviárias.

Do total de vagões, quando enquadrados em quatro diferentes classes (TABELA 24), percebe-se que a maior parcela, de 981 vagões (59,7%), se refere a graneleiros, esperado para um trecho ferroviário de interligação entre as regiões produtoras agrícolas do interior do Paraná e o Porto de Paranaguá. Em segundo lugar, estão vagões plataformas que, predominantemente, transportam contêineres com os mais variados gêneros de mercadorias.

TABELA 24 – VAGÕES REGISTRADOS EM CADA PASSAGEM DE TREM, POR CLASSES.

Medição	Adaptado/ gondola/ telescópico	Graneleiro	Plataforma	Tanque	Total de vagões
#01	14	23	-	44	81
#02	16	48	-	20	84
#03	16	52	1	-	69
#04	-	80	-	-	80
#05	32	38	-	-	70
#06	-	92	-	15	107
#07	12	-	53	-	65
#08	-	79	-	-	79
#09	-	10	70	-	80
#10	13	32	-	37	82
#11	1	71	3	-	75
#12	-	103	-	-	103
#13	-	80	-	-	80
#14	14	28	4	19	65
#15	16	34	-	32	82
#16	-	-	79	-	79
#17	-	95	-	-	95
#18	-	75	-	22	97
#19	7	-	81	2	90
#20	-	41	39	-	80
Total	141	981	330	191	1.643
Média de vagões/ trem					82,2

FONTE: O autor (2017).

Quanto aos modelos específicos registrados de vagões, apresentados na TABELA 25, dentre os graneleiros, a maioria é do modelo HFD, seguido do FHD (ambos apresentados na FIGURA 38). Apenas 4,4% dos vagões registrados são de fabricação recente, graneleiros HPE adquiridos em 2015.

TABELA 25 – VAGÕES REGISTRADOS EM CADA PASSAGEM DE TREM, POR MODELOS.

Medição	Vagões														
	FLC/ FLD	FTC/ GTC	FHD	HFD	HFE	HPE	PCD	PCE	PCE/ PEC	PED/ PDD/ PPC	PER	TSD	TCD	TSC	TCC
#01	14	-	22	1	-	-	-	-	-	-	-	5	32	4	3
#02	16	-	37	10	1	-	-	-	-	-	-	3	13	-	4
#03	16	-	17	31	3	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-
#04	-	-	-	47	29	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#05	32	-	21	15	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#06	-	-	-	58	26	8	-	-	-	-	-	-	10	1	4
#07	-	12	-	-	-	-	-	-	17	34	2	-	-	-	-
#08	-	-	-	45	25	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#09	-	-	-	2	8	-	2	24	34	10	-	-	-	-	-
#10	13	-	11	21	-	-	-	-	-	-	-	-	23	13	1
#11	1	-	47	21	3	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-
#12	-	-	51	52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#13	-	-	-	37	32	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#14	14	-	-	18	9	1	-	-	4	-	-	-	12	-	7
#15	16	-	19	11	4	-	-	-	-	-	-	5	23	2	2
#16	-	-	-	-	-	-	4	38	22	15	-	-	-	-	-
#17	-	-	25	25	28	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-
#18	-	-	-	21	37	17	-	-	-	-	-	2	16	-	4
#19	7	-	-	-	-	-	2	29	22	28	-	1	1	-	-
#20	-	-	-	13	23	5	4	16	14	5	-	-	-	-	-
Total	129	12	250	428	230	73	12	107	117	92	2	16	130	20	25

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 38 – VAGÕES HFD (À ESQUERDA) E FHD (À DIREITA).



FONTE: O autor (2017).

5.2 NÍVEIS SONOROS MEDIDOS E TRATADOS

5.2.1 Som residual

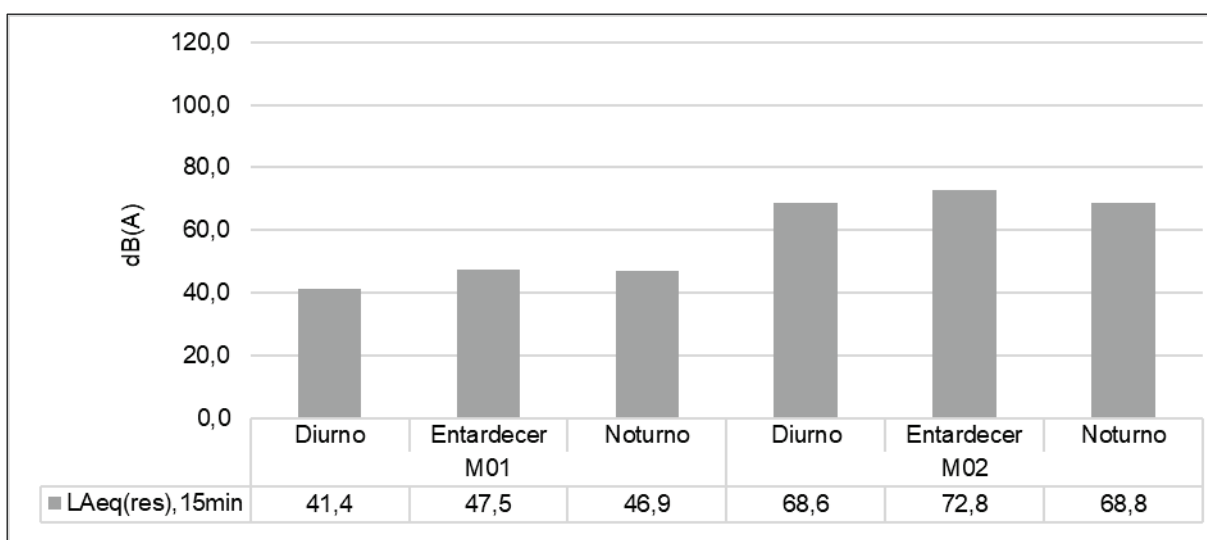
Os resultados de avaliação do som residual na área de estudo, apresentados na TABELA 26 e na FIGURA 39 demonstram paisagens sonoras bastante diferentes nos pontos M01 e M02, um fato esperado pelos objetivos de sua seleção locacional, mesmo distando linearmente apenas cerca de 650 metros.

TABELA 26 – LAEQ DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DO RUÍDO FERROVIÁRIO.

Ponto	Período	Data início	Hora início	$T_{(res)}$	Níveis sonoros, dB(A)	
					$L_{Aeq(res),15min}$	Desvio padrão
M01	Diurno	28/01/2017	10h45	15min	41,4	2,4
	Entardecer	10/06/2017	19h05	15min	47,5	2,4
	Noturno	10/06/2017	22h05	15min	46,9	2,3
M02	Diurno	11/06/2017	10h36	15min	68,6	6,0
	Entardecer	10/06/2017	19h39	15min	72,8	2,4
	Noturno	10/06/2017	22h35	15min	68,8	2,3

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 39 - LAEQ DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DE RUÍDO FERROVIÁRIO.



FONTE: O autor (2017).

Enquanto no ponto M01, situado em local com pouca influência de sons gerados por atividades humanas, os $L_{Aeq(res)}$ variaram entre 41,4 dB(A) e 47,5 dB(A), no ponto M02, ao lado da Avenida Monteiro Lobato os níveis medidos estiveram entre

68,6 dB(A) e 72,2 dB(A), mesmo na ausência do som gerado pela passagem de trens de carga e de acionamento de buzina.

No ponto M02, anotações de campo durante a medição apontaram, nos 15 minutos da medição no período entardecer, um maior volume de tráfego e maior velocidade perceptiva em relação aos demais períodos, o que pode estar relacionado ao horário de retorno de trabalhadores para suas casas ou da ida de estudantes noturnos para suas instituições, considerando a relevante interligação que a Avenida Monteiro Lobato representa neste sentido.

Reflexo disto foi o $L_{Aeq(res)}$ mais elevado no ponto M02 neste período entardecer em relação aos demais. Possivelmente pela mesma razão, considerando que o relevo local favorece a propagação acústica, o nível equivalente do período entardecer tenha sido mais pronunciado em relação ao noturno, mas não justifica o fato de ambos os $L_{Aeq(res)}$ medidos no ponto M01 no período entardecer e noturno terem se apresentado superiores ao nível diurno na ordem de 5 dB(A) adicionais.

Este fato, também de maneira perceptiva durante as medições e anotadas em campo, se deve ao fato da atividade noturna de anuros que habitam os remanescentes florestais existentes na área de estudo gerar sons naturais de expressiva magnitude, conforme apontaram Gerhardt (1975) e Love e Bee (2010).

Mesmo o ponto estando a cerca de 300 metros de distância de um pequeno fragmento florestal mais próximo, condizente com a mata ciliar do Rio da Prancha, e a cerca de 500 metros da maior área remanescente florestal, situada no fundo do vale e às margens do Rio Lajeado Grande, ainda assim a propagação acústica e a inexistência de outras fontes antrópicas culmina no fato destes sons naturais serem responsáveis por níveis sonoros mais elevados ao entardecer e à noite que no período diurno, em que alguns insetos e pássaros são incapazes de promover a mesma magnitude.

Tais afirmações são fortalecidas ao se apreciar os históricos de $L_{Aeq,1s}$ ao longo dos 15 minutos das medições do som residual no M01, apresentado no APÊNDICE A, que revelam um caráter quase de som contínuo em virtude da inexistência de fontes sonoras antrópicas relevantes próximas, na ausência de ruído ferroviário.

Trata-se, então, de um local de medição muito adequado para avaliações sem sons intrusivos antrópicos, mesmo que, inesperadamente, tenha se mostrado possuir

uma característica de paisagem sonora que foge do habitual, com níveis sonoros mais elevados ao entardecer e no período noturno do que no período diurno.

Os resultados de níveis sonoros obtidos no ponto M02, por outro lado, também se mostraram satisfatórios ao propósito de caracterização das imissões sonoras geradas pelo tráfego ferroviário na Avenida Monteiro Lobato.

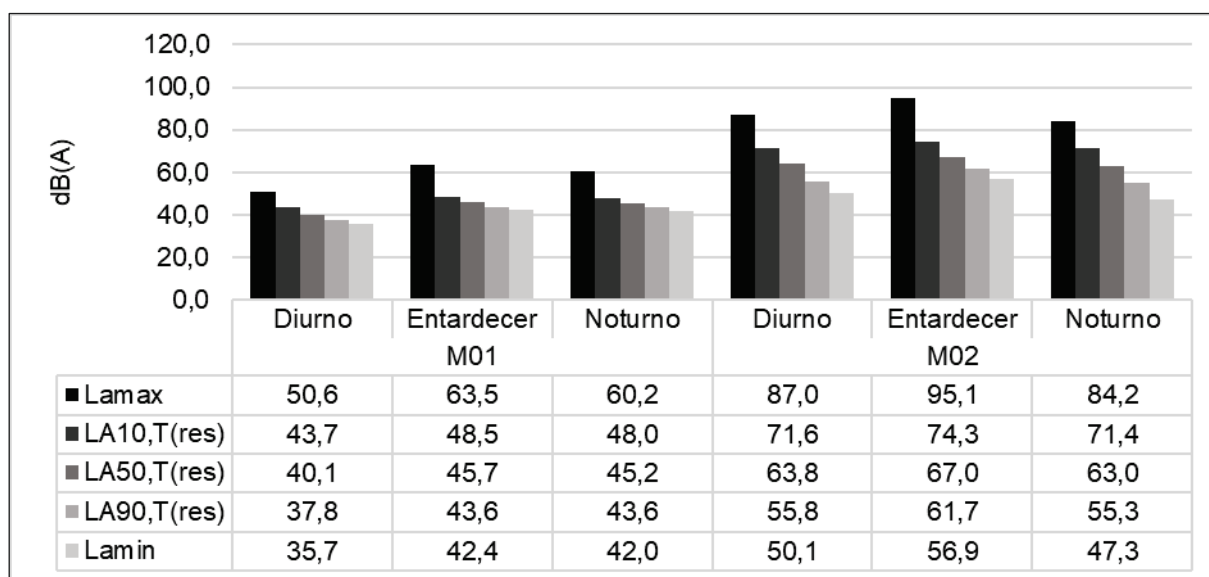
Com relação aos níveis estatísticos, também são observadas diferenças sensíveis nos resultados obtidos em cada ponto de medição. Enquanto no ponto M01 são observados os menores L_{Amax} e L_{Amin} as menores flutuações ($L_{A10,T} - L_{90,T}$ entre 4,4 e 5,9 dB(A)), o som intermitente da passagem de veículos nas adjacências do ponto de medição M02 resultaram em L_{Amax} e L_{Amin} mais elevados, bem como a maiores flutuações denotadas como a diferença dos indicadores estatísticos.

TABELA 27 – INDICADORES ESTATÍSTICOS DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DO RUÍDO FERROVIÁRIO.

Ponto	Período	Data início	Hora início	$T_{(res)}$	Níveis estatísticos, dB(A)				
					L_{Amax}	$L_{A10,T(res)}$	$L_{A50,T(res)}$	$L_{A90,T(res)}$	L_{Amin}
M01	Diurno	28/01/2017	10h45	15min	50,6	43,7	40,1	37,8	35,7
	Entardecer	10/06/2017	19h05	15min	63,5	48,5	45,7	43,6	42,4
	Noturno	10/06/2017	22h05	15min	60,2	48,0	45,2	43,6	42,0
M02	Diurno	11/06/2017	10h36	15min	87,0	71,6	63,8	55,8	50,1
	Entardecer	10/06/2017	19h39	15min	95,1	74,3	67,0	61,7	56,9
	Noturno	10/06/2017	22h35	15min	84,2	71,4	63,0	55,3	47,3

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 40 - INDICADORES ESTATÍSTICOS DO SOM RESIDUAL, NA AUSÊNCIA DO RUÍDO FERROVIÁRIO.



FONTE: O autor (2017).

5.2.2 Som específico de eventos de passagens de trens de carga

Os níveis de pressão sonora equivalentes contínuos $L_{Aeq(trem),T_i}$ (ou apenas L_i) medidos no ponto M01 para caracterizar cada um de 20 eventos de passagens de trens carga variaram entre 70,5 e 81,0 dB(A), com média logarítmica $L_{k(20trens)}$ de 76,5 dB(A), que, quando considerados apenas os três menores resultados L_i medidos em cada sentido resulta num $L_{k(6trens)}$ de 72,4 dB(A), conforme consta na TABELA 28.

TABELA 28 – RESULTADOS GLOBAIS DE LAEQ E NÍVEIS MÁXIMOS DAS MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.

Trem	Data Início	Hora Início	T_i	Sentido	Velocidade (km/h)	Níveis sonoros, dB	
						$L_{Aeq(trem),T_i}$	L_{Amax}
#01	22/11/16	15h27min37s	05min52s	LAP	24,9	79,0	93,8
#02	23/11/16	10h33min29s	04min36s	LAP	29,5	78,4	94,1
#03	23/11/16	11h36min45s	03min08s	LUS	27,9	73,9	91,7
#04	23/11/16	15h23min19s	05min48s	LAP	25,4	71,5	86,5
#05	23/11/16	16h47min17s	04min50s	LAP	27,1	77,4	90,6
#06	24/11/16	11h15min24s	04min27s	LUS	29,5	79,4	101,5
#07	24/11/16	12h07min44s	04min13s	LAP	29,6	79,5	95,5
#08	24/11/16	14h06min14s	04min27s	LAP	28,0	73,7	87,7
#09	24/11/16	18h02min05s	04min12s	LAP	35,9	75,5	90,6
#10	24/11/16	19h23min23s	05min30s	LAP	27,1	79,4	94,0
#11	28/1/17	10h04min53s	03min59s	LAP	32,6	81,0	96,4
#12	28/1/17	11h23min20s	03min17s	LUS	39,1	75,8	91,0
#13	28/1/17	15h42min54s	04min18s	LAP	37,4	73,9	88,1
#14	11/2/17	14h08min22s	03min26s	LUS	32,7	70,5	84,0
#15	10/6/17	11h28min34s	07min02s	LUS	30,3	71,6	84,6
#16	10/6/17	11h54min25s	04min01s	LAP	38,4	75,6	89,0
#17	10/6/17	16h20min03s	04min00s	LUS	39,9	73,4	88,0
#18	10/6/17	17h37min13s	06min26s	LUS	31,3	72,4	88,8
#19	11/6/17	11h27min58s	03min11s	LUS	36,3	72,1	81,5
#20	11/6/17	12h00min05s	03min35s	LAP	36,9	74,5	86,4
Valor mínimo			03min08s	-	24,9	70,5	81,5
Valor máximo			07min02s	-	39,9	81,0	101,5
$L_{k(20trens)}$			04min31s	-	32,0	76,5	-
$L_{k(6trens)}$			04min42s	-	31,7	72,4	-

FONTE: O autor (2017).

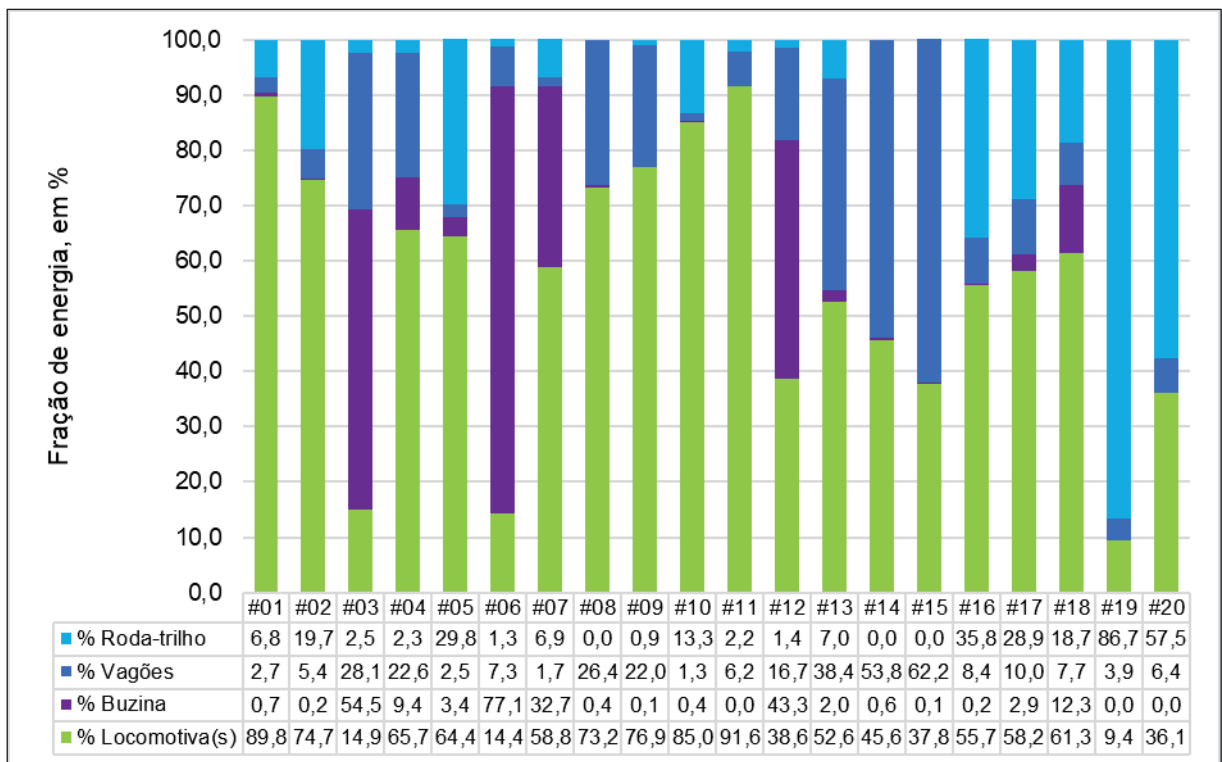
Trata-se de um cenário de sensível variação que se dá, a princípio, em virtude de:

- Variabilidade de composições ferroviárias no trecho (material rodante e cargas);
- Diferentes velocidades, variando de 24,9 km/h a 39,9 km/h, com média de 32 km/h;

- Diferentes intervalos de integração variando entre pouco mais de três minutos a até mais de sete minutos, em virtude do comprimento das composições e de suas velocidades;
- Sentido de tráfego: acentua-se mais acentuado sentido LAP, o que pode estar associado com o fato de quatro dos cinco maiores resultados de L_i ; serem referentes a este sentido de tráfego;
- E, principalmente, os tipos de contribuições parciais, dentre os quais a buzina se apresenta como responsável por alguns dos mais elevados níveis máximos medidos.

Em prol de uma análise detalhada do nível de pressão sonora equivalente medido a cada passagem, como fruto do tratamento dos dados, a FIGURA 41 apresenta as frações de energia de contribuições parciais, de acordo com as quatro tipologias de fontes definidas metodologicamente.

FIGURA 41 – FRAÇÕES DE ENERGIA DE CONTRIBUIÇÕES PARCIAIS AO LAEQ GLOBAL DE MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.



FONTE: O autor (2017).

Nota-se que a maior parte dos resultados é regida pela contribuição de ruídos gerados pela(s) locomotiva(s), com alguns casos em que representa quase a

totalidade. Foi o que ocorreu nas medições #10 e #11, cujas respectivas características são descritas: ambas de eventos de passagens de trem de carga sentido Piriquitos (LPJ)/ Apucarana (LAP); com duas com duplas de locomotivas ES43BBi e SD40; com 82 e 75 vagões; com 27,1 e 32,6 km/h; com L_i de 79,4 e 81,0 dB(A); com L_{Amax} de 94,0 e 96,4 dB(A).

Mesmo tendo buscado distanciamento das passagens em nível (PNs) na seleção do ponto de medição M01, a fim de se evitar o ruído do acionamento obrigatório de buzinas como sons intrusivos, o ruído gerado pelo acionamento esporádico de buzina (frente a adversidades na via férrea) chegou a responder por mais de 50% da fração de energia do nível sonoro global nas medições #03 e #06.

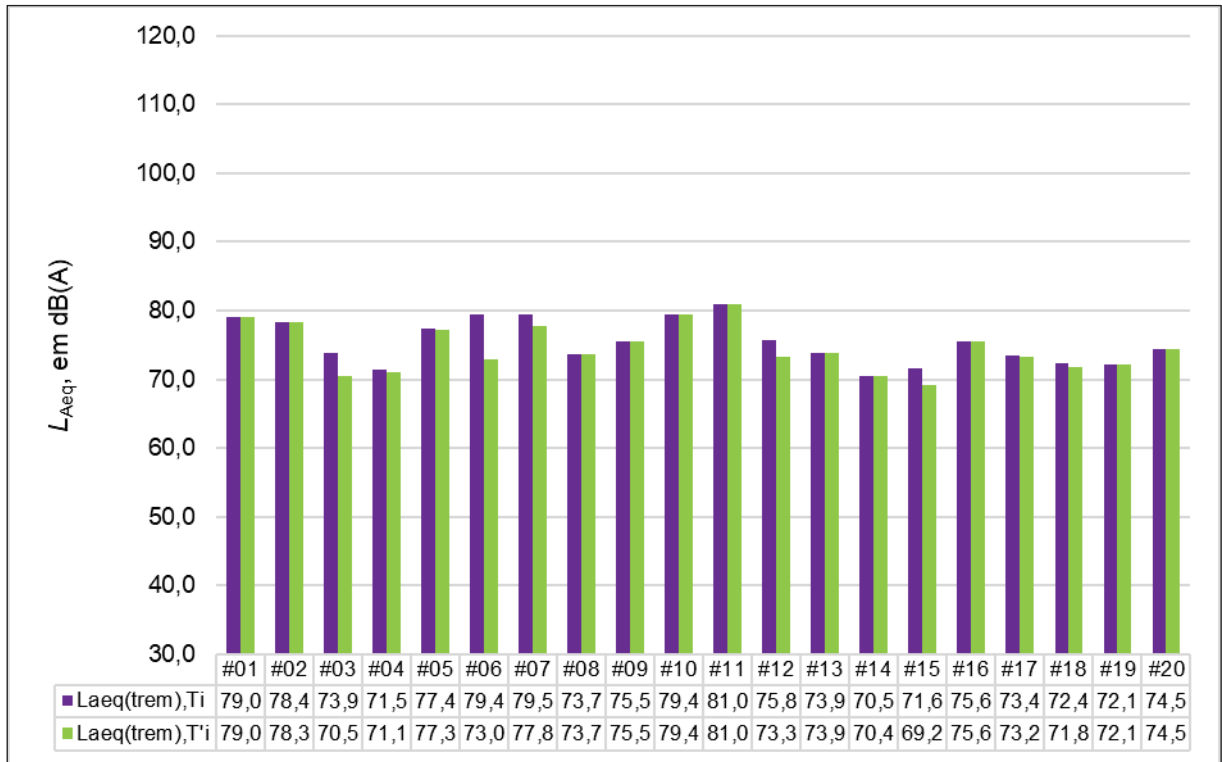
Além disso, percebe-se que há resultados de medições em que o ruído gerado pela passagem dos vagões, influenciado por fatores como o tipo de vagão e condição de carregamento de vagão (carregado/ vazio), além velocidade do trem, pode representar uma parcela de mais de 50% de contribuição ao resultado, como ocorreu nas medições #14 e #15, sentido LUS. Frente Às demais parcelas de contribuição, parece se mostrar a mais neutra, tendo em vista que os L_i destas medições resultaram entre os seis menores valores.

Por último, também foi observada, sobretudo nas medições #19 e #20, uma expressiva fração de energia referente a ruídos gerados pela interação roda-trilho, de 86,7 e 57,5%, respectivamente. Enquanto em outros casos anteriores, o ruído roda-trilho era mais associado ao esmerilhamento dos flanges dos rodados, nestas duas últimas medições, mediante resgate da vídeo-interpretação, pôde-se constatar que o fato foi acarretado por um vão existente entre juntas de trilhos.

Retomando a energia representada pelo acionamento da buzina, uma medida de controle para se evitar a necessidade de acionamentos excepcionais da buzina neste local seria o isolamento da faixa de domínio da ferrovia para evitar o trânsito de pessoas na ferrovia.

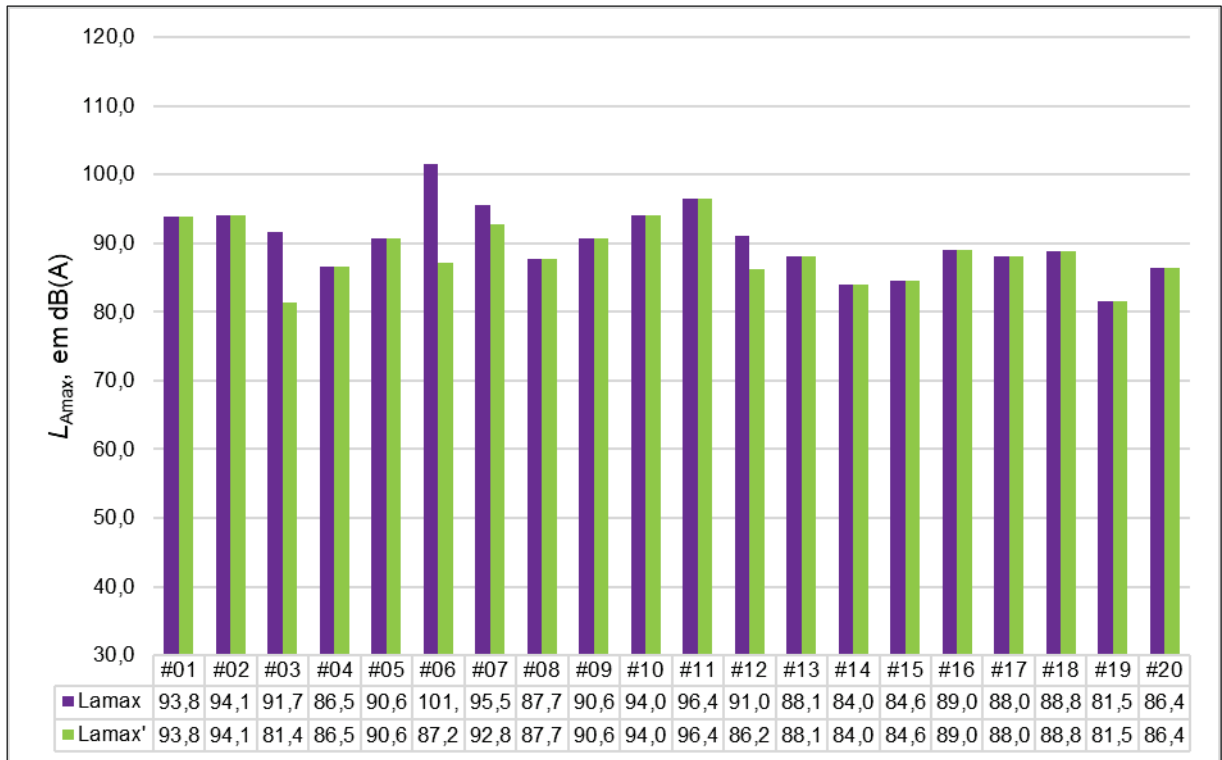
A fim de se avaliar a magnitude de melhoria pela qual esta medida de controle seria responsável, trataram-se os dados para eliminação dos registros de buzina (APÊNDICE B). Enquanto a FIGURA 42 apresenta o comparativo dos L_{Aeq} com e sem a buzina, na FIGURA 43 consta o comparativo do L_{Amax} com e sem a buzina.

FIGURA 42 – COMPARATIVO DOS RESULTADOS GLOBAIS E TRATADOS DE LAEQ DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS, COM ELIMINAÇÃO DA BUZINA.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 43 – COMPARATIVO DOS RESULTADOS GLOBAIS E TRATADOS DE NÍVEIS MÁXIMOS DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS, COM ELIMINAÇÃO DA BUZINA.



FONTE: O autor (2017).

Os resultados apresentados nas figuras e também na TABELA 29, a seguir, apontam uma possível redução de mais de 6 dB(A) de L_{Aeq} referente a uma única medição isolada (#06). Quanto ao L_{Amax}' , a eliminação dos registros associados a buzina promoveu uma redução de 101,5 dB(A) para 96,4 dB(A) e, principalmente, propiciaram o conhecimento dos níveis máximos exclusivamente gerados pelo ruído do motor das locomotivas. Quanto à média, $L_{k(20trens)}$, diminuiu de 76,5 dB(A) para 75,8 dB(A).

TABELA 29 – RESULTADOS TRATADOS, COM ELIMINAÇÃO DE RUÍDOS DE BUZINA, DE LAEQ E DE NÍVEIS MÁXIMOS DE MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.

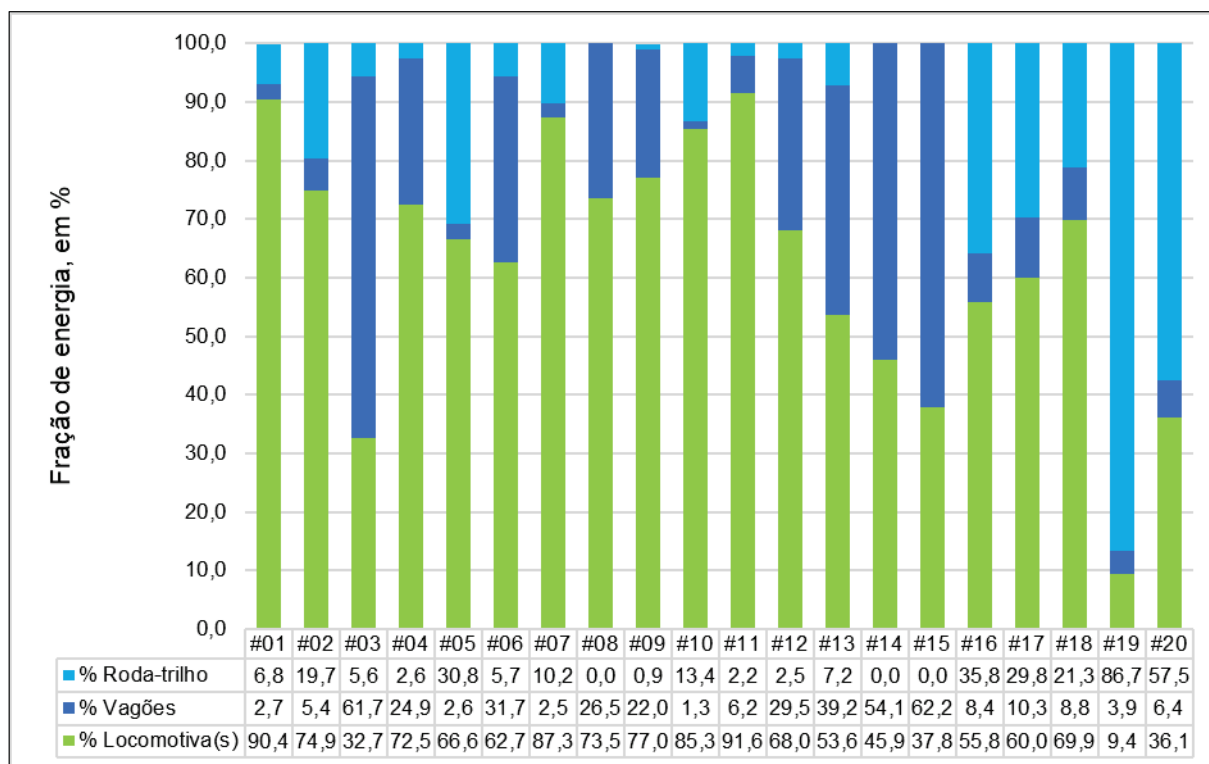
Medição	Data início	Hora início	T'_i (s/ buzina)	Sentido	Velocidade (km/h)	Níveis sonoros, dB(A)	
						$L_{Aeq(trem),T'_i}$	L_{Amax}'
#01	22/11/16	15h27min37s	05min31s	LAP	24,9	79,0	93,8
#02	23/11/16	133min29s	04min28s	LAP	29,5	78,3	94,1
#03	23/11/16	11h36min45s	03min01s	LUS	27,9	70,5	81,4
#04	23/11/16	15h23min19s	05min39s	LAP	25,4	71,1	86,5
#05	23/11/16	16h47min17s	04min33s	LAP	27,1	77,3	90,6
#06	24/11/16	11h15min24s	04min16s	LUS	29,5	73,0	87,2
#07	24/11/16	12h07min44s	03min30s	LAP	29,6	77,8	92,8
#08	24/11/16	14h06min14s	04min22s	LAP	28,0	73,7	87,7
#09	24/11/16	18h02min05s	03min56s	LAP	35,9	75,5	90,6
#10	24/11/16	19h23min23s	05min15s	LAP	27,1	79,4	94,0
#11	28/1/17	10h04min53s	03min44s	LAP	32,6	81,0	96,4
#12	28/1/17	11h23min20s	02min59s	LUS	39,1	73,3	86,2
#13	28/1/17	15h42min54s	03min54s	LAP	37,4	73,9	88,1
#14	11/2/17	14h08min22s	03min19s	LUS	32,7	70,4	84,0
#15	10/6/17	11h28min34s	03min45s	LUS	30,3	69,2	84,6
#16	10/6/17	11h54min25s	03min37s	LAP	38,4	75,6	89,0
#17	10/6/17	16h20min03s	03min11s	LUS	39,9	73,2	88,0
#18	10/6/17	17h37min13s	05min26s	LUS	31,3	71,8	88,8
#19	11/6/17	11h27min58s	03min00s	LUS	36,3	72,1	81,5
#20	11/6/17	12h00min05s	03min35s	LAP	36,9	74,5	86,4
Valor mínimo			02min59s	-	24,9	69,2	81,4
Valor máximo			05min39s	-	39,9	81,0	96,4
Valor médio			04min03s	-	32,0	75,8	-

FONTE: O autor (2017).

Da mesma maneira, com a eliminação da contribuição da buzina, mais claramente pôde-se avaliar demais medidas possíveis de serem implementadas para controle de ruído na fonte (composição ferroviária). Com base na FIGURA 44, percebe-se, por exemplo, que na medição #03 a parcela de contribuição de ruídos gerados pela passagem de vagões representou quase o dobro da contribuição das locomotivas.

Ao se analisar o gráfico de níveis sonoros ao longo do tempo, constante no APÊNDICE B, juntamente com a filmagem da medição e da passagem do trem, percebe-se que um pequeno lote com pouco mais de 10 vagões vazios ao fim da composição foi responsável pela contribuição.

FIGURA 44 – FRAÇÕES DE ENERGIA DE CONTRIBUIÇÕES PARCIAIS AO LAEQ GLOBAL DE MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS (ELIMINADA A BUZINA).



FONTE: O autor (2017).

5.2.3 Som específico de evento de acionamento de buzina de trem de carga

A medição do $L_{Aeq(buzina),T_i}$ se deu mediante pós processamento de um resultado de medição de $L_{Aeq(trem),T_i}$ no ponto de medição M02. Enquanto a TABELA 30 apresenta os resultados, a FIGURA 45 apresenta o gráfico de $L_{Aeq,1s}$ ao longo do tempo com destaque aos eventos seguidos de acionamento de buzina.

TABELA 30 – RESULTADO DO LAEQ E NÍVEL MÁXIMO DAS MEDIÇÕES DE EVENTOS DE PASSAGENS DE TRENS.

Data início	Hora início	T_i	Sentido	Níveis sonoros, dB(A)	
				$L_{Aeq(buzina),T_i}$	L_{Amax}
11/06/17	10h30min26s	0min32s	LAP	95,9	105,7

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 45 – LAEQ,1S AO LONGO DE UM EVENTO DE PASSAGEM DE TREM COM DESTAQUE AO INTERVALO DE TEMPO DE INTEGRAÇÃO DO SOM ESPECÍFICO DA BUZINA..



FONTE: O autor (2017).

Por fim, a FIGURA 46 ilustra a medição de níveis sonoros de um evento de passagem de trem a partir do qual se obteve o $L_{Aeq(buzina),T_i}$.

FIGURA 46 – REGISTRO DO INSTANTE DO NÍVEL MÁXIMO DURANTE MEDIÇÃO DO EVENTO DE ACIONAMENTO DE BUZINA.



FONTE: O autor (2017).

5.2.4 L_{den} do som residual

O cálculo do nível sonoro dia-entardecer-noite referente ao som residual, $L_{den(res)}$, nos receptores M01 e M02 se deu por meio da equação (5) e com os $L_{Aeq,15min(res)}$ medidos em horários inseridos nos períodos diurno, entardecer e noturno tomados diretamente como L_d , L_e e L_n , respectivamente. Os resultados, apresentados na TABELA 31 e úteis à calibração dos mapas acústicos, são de $L_{den(res)}$ nos pontos M01 e M02 de 53,0 dB(A) e de 75,9 dB(A), respectivamente.

TABELA 31 – LDEN DO SOM RESIDUAL NOS RECEPTORES M01 E M02.

Receptor	L_d dB(A)	L_e dB(A)	L_n dB(A)	$L_{den(res)}$ dB(A)
M01	41,4	47,5	46,9	53,0
M02	68,6	72,8	68,8	75,9

FONTE: O autor (2017).

5.2.5 L_{den} do som total, com ruído ferroviário

O cálculo dos níveis sonoros dia-entardecer-noite referente, L_{den} , ao som total, com ruído ferroviário, se deu por meio da aplicação das equações (4) e (5) em sequência, adotando-se a média de 13,7 trens/ dia (distribuídos igualmente nos períodos), e os resultados são apresentados na TABELA 32.

TABELA 32 – LDEN DO SOM TOTAL, COM RUÍDO FERROVIÁRIO, NOS RECEPTORES M01 E M02.

Ponto	Período	$T_{n(res)}$ (s)	$L_{Aeq(res),15min}$ dB(A)	$T_{n(20trens)}$ (s)	$L_{k(20trens)}$ dB(A)	$T_{n(buzina)}$ (s)	$L_{Aeq(buzina),T_i}$ dB(A)	$L_{RAeq,T}$	L_{den}
M01	T_d	41344	41,4	1856	76,5	0	0	62,9	69,3
	T_e	13781	47,5	619	76,5	0	0	63,0	
	T_n	27562	46,9	1238	76,5	0	0	62,9	
M02	T_d	41344	68,6	1637	76,5	219	95,9	74,5	81,2
	T_e	13781	72,8	546	76,5	73	95,9	76,0	
	T_n	27562	68,8	1091	76,5	146	95,9	74,6	

FONTE: O autor (2017).

Quando considerado o cenário hipotético de mapeamento acústico com otimização operacional, procede-se aos mesmos cálculos, porém com o $L_{k(6trens)}$, de 72,4 dB(A). Os resultados obtidos mediante esta premissa que serve ao mapeamento acústico são apresentados por meio da TABELA 33.

TABELA 33 – LDEN DO SOM TOTAL, COM RUÍDO FERROVIÁRIO E OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL, NOS RECEPTORES M01 E M02.

Ponto	Período	$T_{n(res)}$ (s)	$L_{Aeq(res),15min}$ dB(A)	$T_{n(20trens)}$ (s)	$L_{k(20trens)}$ dB(A)	$T_{n(buzina)}$ (s)	$L_{Aeq(buzina),T_i}$ dB(A)	$L_{RAeq,T}$	L_{den}
M01	T_d	41344	41,4	1856	72,4	0	0	58,8	65,4
	T_e	13781	47,5	619	72,4	0	0	59,0	
	T_n	27562	46,9	1238	72,4	0	0	59,0	
M02	T_d	41344	68,6	1637	72,4	219	95,9	74,4	81,0
	T_e	13781	72,8	546	72,4	73	95,9	75,9	
	T_n	27562	68,8	1091	72,4	146	95,9	74,4	

FONTE: O autor (2017).

5.3 MAPAS ACÚSTICOS ESTRATÉGICOS E EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO

5.3.1 Diagnóstico

5.3.1.1 Som residual

A apresentação dos resultados de mapeamento acústico do som residual inicia com os resultados pontuais junto aos receptores estabelecidos (pontos de medição M01 e M02), que revelam que a parametrização implementada conseguiu boa acurácia junto a estes.

Conforme consta na TABELA 31, foram atingidas diferenças entre valores observados e preditos da ordem máxima de 0,8 dB(A) frente a uma incerteza esperada recomendada de até 4,6 dB(A) (LICITRA; MEMOLI, 2008).

TABELA 34 – RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO NOS RECEPTORES M01 E M02.

Ponto	Indicadores	Observado dB(A)	Predito dB(A)	Diferença dB(A)
M01	L_d	41,4	42,0	-0,6
	L_e	47,5	47,5	0,0
	L_n	46,9	46,1	0,8
	L_{den}	53,0	52,4	0,6
M02	L_d	68,6	68,8	-0,2
	L_e	72,8	72,2	0,6
	L_n	68,8	68,8	0,0
	L_{den}	75,9	75,8	0,1

FONTE: O autor (2017).

Diante deste cenário, os mapas estratégicos acústicos para os indicadores L_d , L_e e L_n e $L_{den(res)}$ foram calculados e são apresentados por meio do conjunto de figuras da FIGURA 47 à FIGURA 54. Num segundo momento, a exploração dos

resultados espaciais possibilitou a obtenção da estimativa da exposição da população total de 8.504 residentes na área de estudo em faixas de níveis sonoros (TABELA 35).

TABELA 35 – ESTIMATIVA DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO AO SOM RESIDUAL.

L_d - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	1.118	1.819	3.160	1.518	332	99	9	0
		6.096				1.958		
			7.946				108	
L_e - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	1	377	1.334	4.108	1.650	450	127	8
		1.711				6.343		
			7.469				585	
L_n - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	1	441	1.993	3.998	1.215	333	64	8
			6433			1621		
L_{den} - dB(A)	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Residentes	0	263	1.251	4.088	1.879	448	113	11
		1.514				6.540		

FONTE: O autor (2017).

Com base nestes resultados, percebe-se que, mesmo na ausência de ruído ferroviário, são estimados os números de 1.958 (24,3%) e 6.343 (78,8%) residentes expostos a L_d e L_e superiores ao valor orientador da OMS de 50 dB(A), respectivamente (BERGLUND et al., 1999). São estimativas que reduzem para 108 (1,3%) e 585 (7,3%) residentes expostos a L_d e L_e superiores ao valor de 60 dB(A), acima do qual a OMS aponta aumento de riscos cardiovasculares (WHO, 2009).

Com respeito ao L_n , mesmo na ausência do ruído ferroviário, estima-se que praticamente a totalidade dos residentes da área de estudo estão expostos a níveis superiores ao valor orientador de 40 dB(A) recomendado pela OMS (WHO, 2009). Quando avaliado frente ao valor recomendado interino, de 55 dB(A), estima-se que, mesmo na ausência de ruído ferroviário, 1.620 residentes (20,1%) estão expostos a níveis superiores. Por fim, quanto ao L_{den} , frente ao limiar de 55 dB(A) para mapeamento acústico e plano de ação da União Europeia (EU, 2002a), estima-se que 6.539 residentes (81,2%) estão expostos a níveis superiores, ainda na ausência de ruído ferroviário.

Suportado nos resultados medidos, que justificaram a inserção no mapa acústico de fontes sonoras em área sob a vegetação para refletir o som de anuros, o mapa acústico do som residual mescla um cenário regido pela influência do ruído gerado pelo tráfego rodoviário, sobretudo das principais vias, e também de sons

naturais, cuja contribuição é raramente mencionada na pesquisa, como o fizeram Abbott e Nelson e Caley e Savery (2002; 2007 apud MURPHY;KING, 2014).

FIGURA 47 – MAPA ACÚSTICO DO L_D DO SOM RESIDUAL.



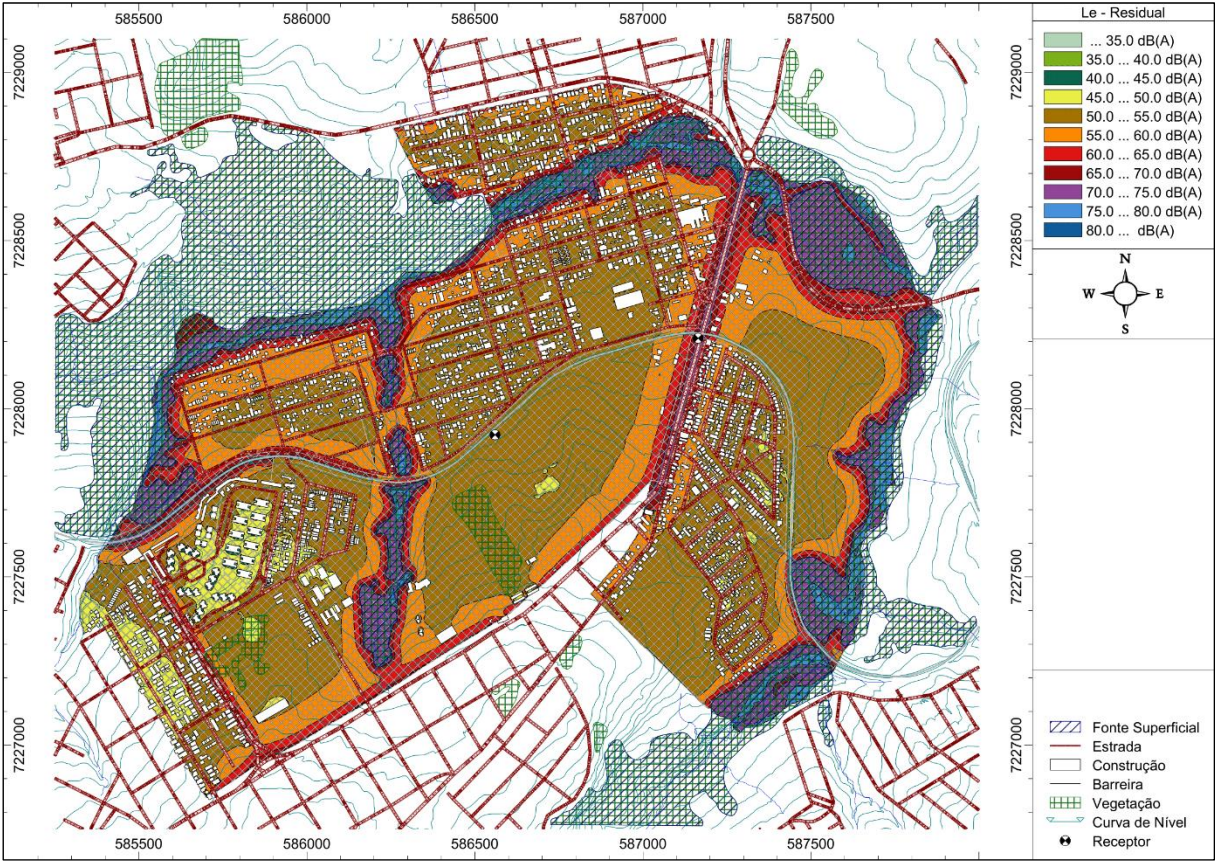
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 48 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_D DO SOM RESIDUAL.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 49 – MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM RESIDUAL.

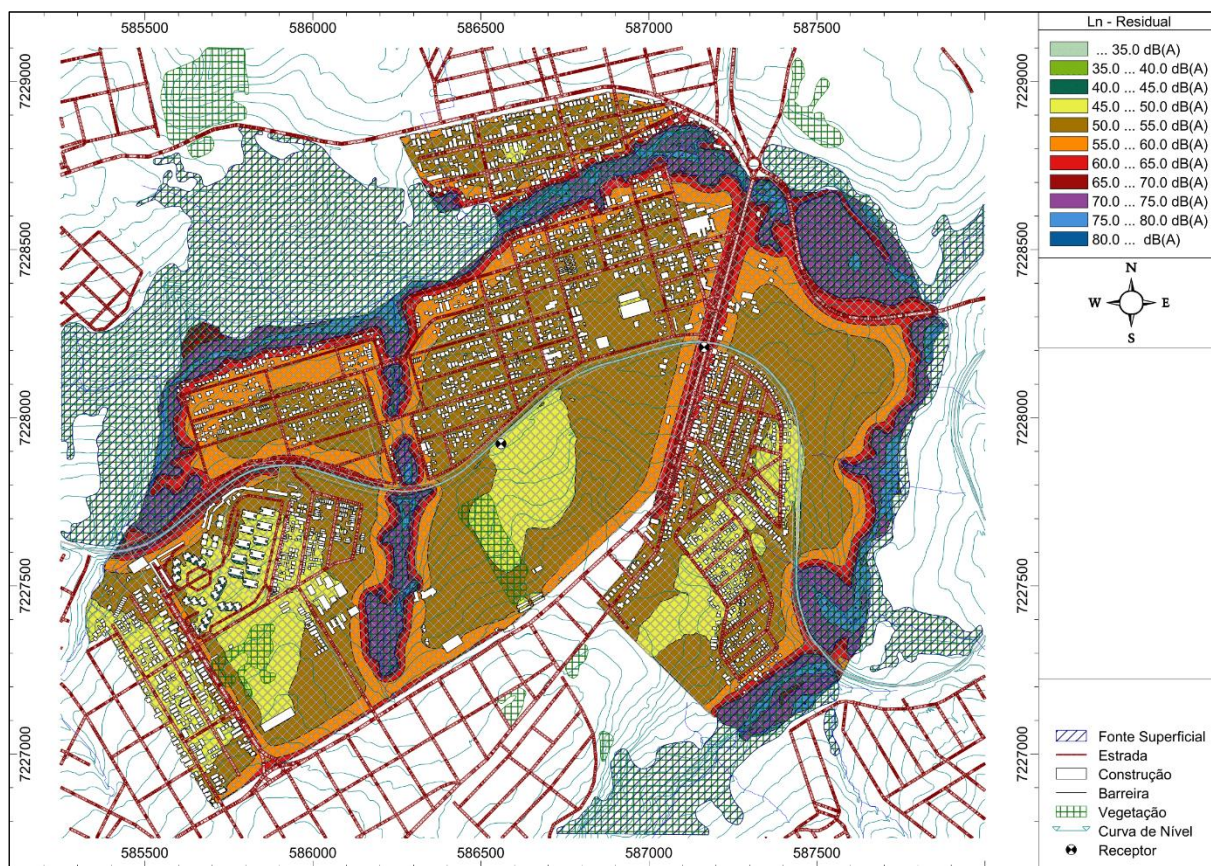


FONTE: O autor (2017).

FIGURA 50 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM RESIDUAL.



FONTE: O autor (2017).

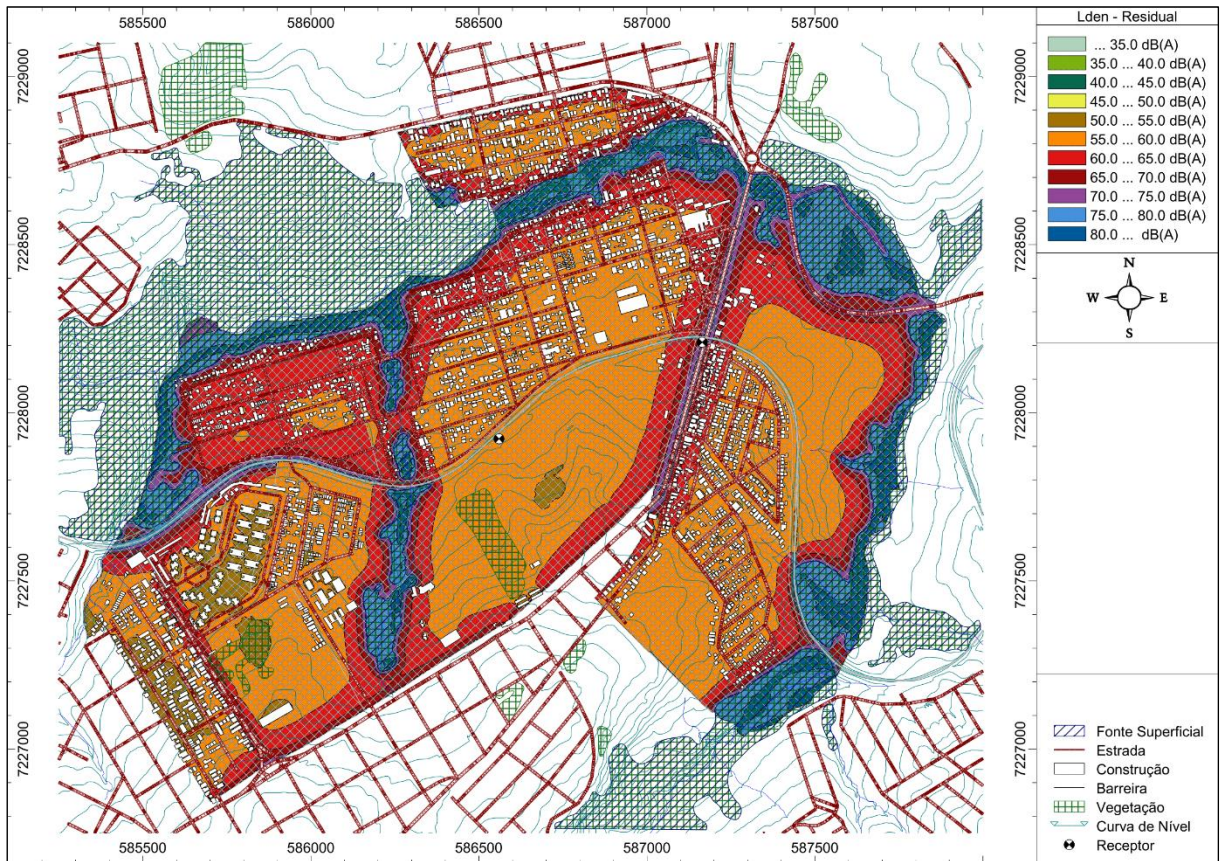
FIGURA 51 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM RESIDUAL.

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 52 – PERSPECTIVA 3D DO L_N DO SOM RESIDUAL.

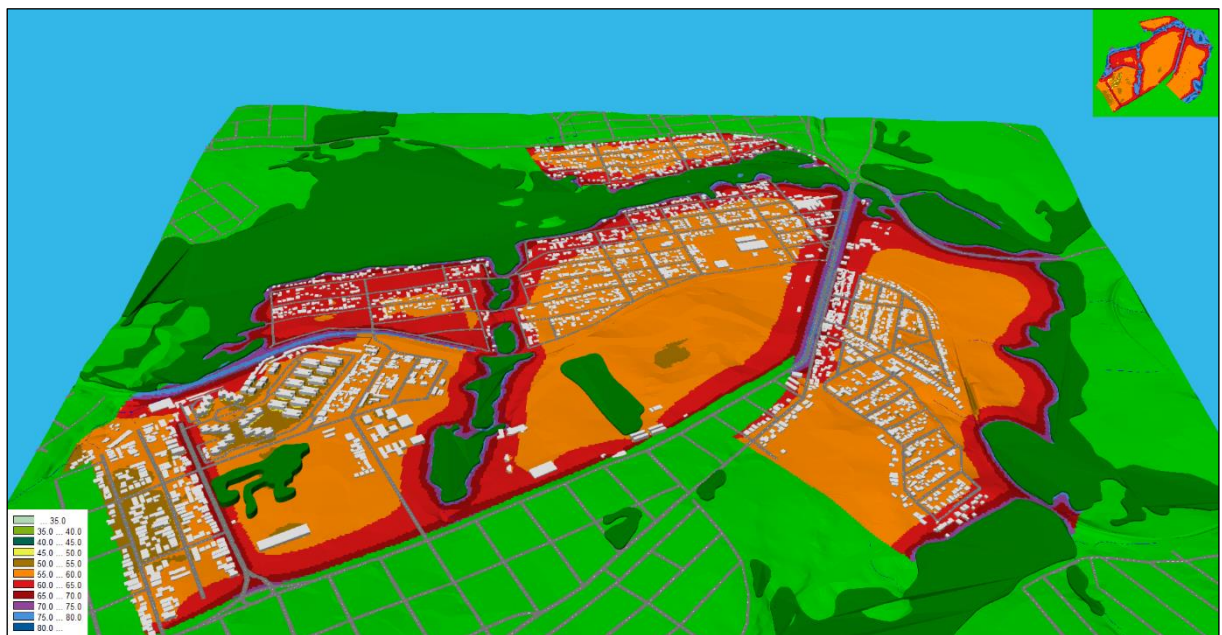
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 53 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM RESIDUAL.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 54 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM RESIDUAL.



FONTE: O autor (2017).

5.3.1.2 Som total, com ruído ferroviário

Assim como para o som residual, a apresentação dos resultados de mapeamento acústico do som total inicia com os resultados pontuais junto aos receptores estabelecidos (pontos de medição M01 e M02), também de boa acurácia.

Conforme apresenta a TABELA 31 a diferença valores observados com níveis preditos é da ordem máxima de 0,7 dB(A), bastante inferior à incerteza esperada recomendada por Licitra e Memoli (2008), de 4,6 dB(A).

TABELA 36 – RESULTADOS DE CALIBRAÇÃO NOS RECEPTORES M01 E M02.

Ponto	Indicadores	Observado dB(A)	Predito dB(A)	Diferença dB(A)
M01	L_d	62,9	63,6	-0,7
	L_e	63,0	63,7	-0,7
	L_n	62,9	63,6	-0,7
	$L_{den(res)}$	69,3	70,0	-0,7
M02	L_d	74,5	74,1	0,4
	L_e	76,0	75,4	0,6
	L_n	74,6	74,1	0,5
	$L_{den(res)}$	81,2	80,7	0,5

FONTE: O autor (2017).

Os mapas estratégicos acústicos para os indicadores L_d , L_e e L_n e L_{den} foram calculados e são apresentados por meio do conjunto de figuras da FIGURA 55 à FIGURA 62. Já a estimativa da exposição de residentes ao som total, incluído o ruído ferroviário, em faixas de níveis sonoros consta na TABELA 37.

TABELA 37 – ESTIMATIVA DA EXPOSIÇÃO DA POPULAÇÃO NA ÁREA DE ESTUDO AO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

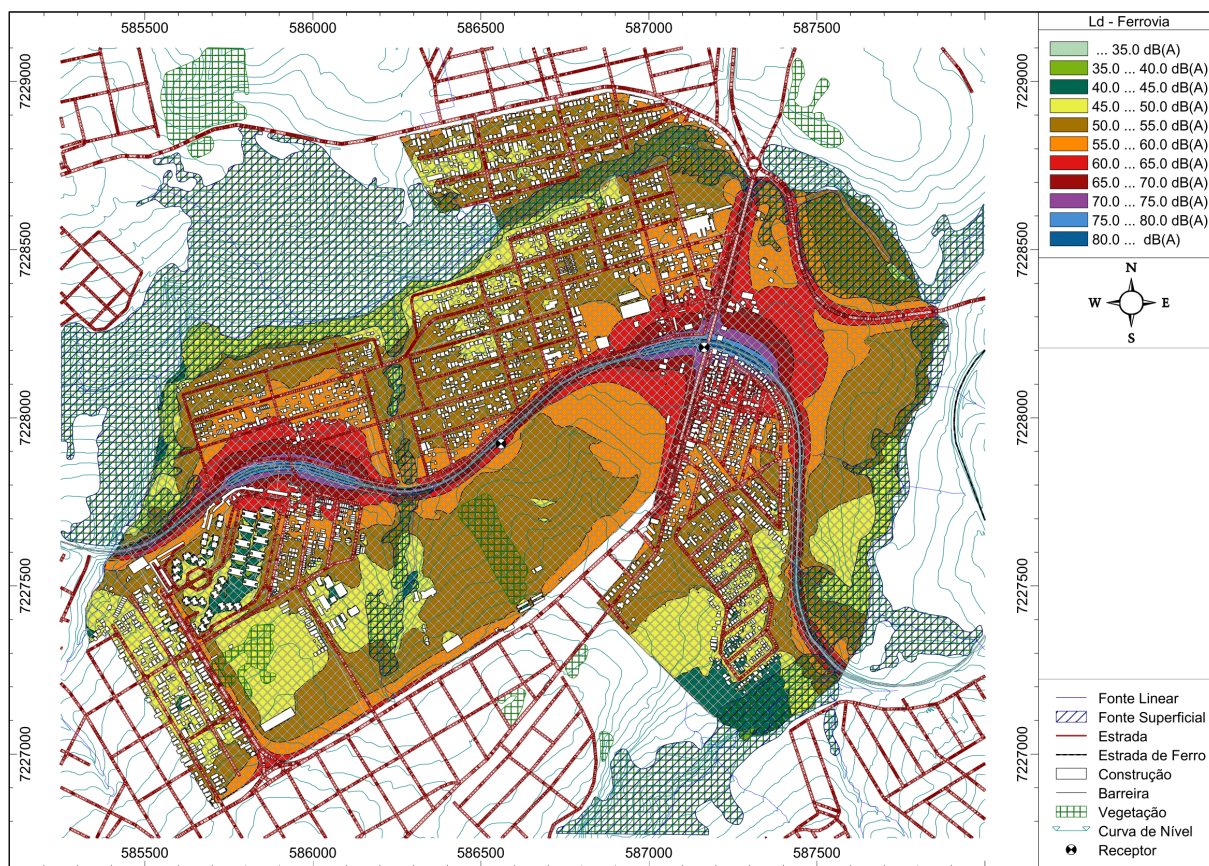
L_d - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	471	624	1.634	3.273	1.391	460	130	72
		2.729				5.326		
			7.392				662	
L_e - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	0	268	1.043	2.490	2.988	938	238	87
		1.312				6.742		
			6.790				1.264	
L_n - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	0	312	1.263	2.773	2.660	774	191	79
			4.349			3.705		
L_{den} - dB(A)	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Residentes	0	168	964	2.185	3.199	1.160	270	109
		1.132				6.922		

FONTE: O autor (2017).

São, de acordo com as estimativas, 5.326 (66,1%) e 6.742 (83,7%) residentes expostos a L_d e L_e superiores ao valor orientador da OMS de 50 dB(A), respectivamente (BERGLUND et al., 1999), enquanto os números de residentes expostos a L_d e L_e superiores ao valor de 60 dB(A), acima do qual a OMS aponta aumento de riscos cardiovasculares (WHO, 2009), são de 662 (8,2%) e 1.264 (15,7%), respectivamente.

Com respeito ao L_n referente ao som total, incluído o ruído ferroviário, estima-se que nenhum residente está exposto a níveis inferiores a 40 dB(A) e que 3.705 residentes (46,0%) estão expostos a valores superiores ao recomendado interino, de 55 dB(A).

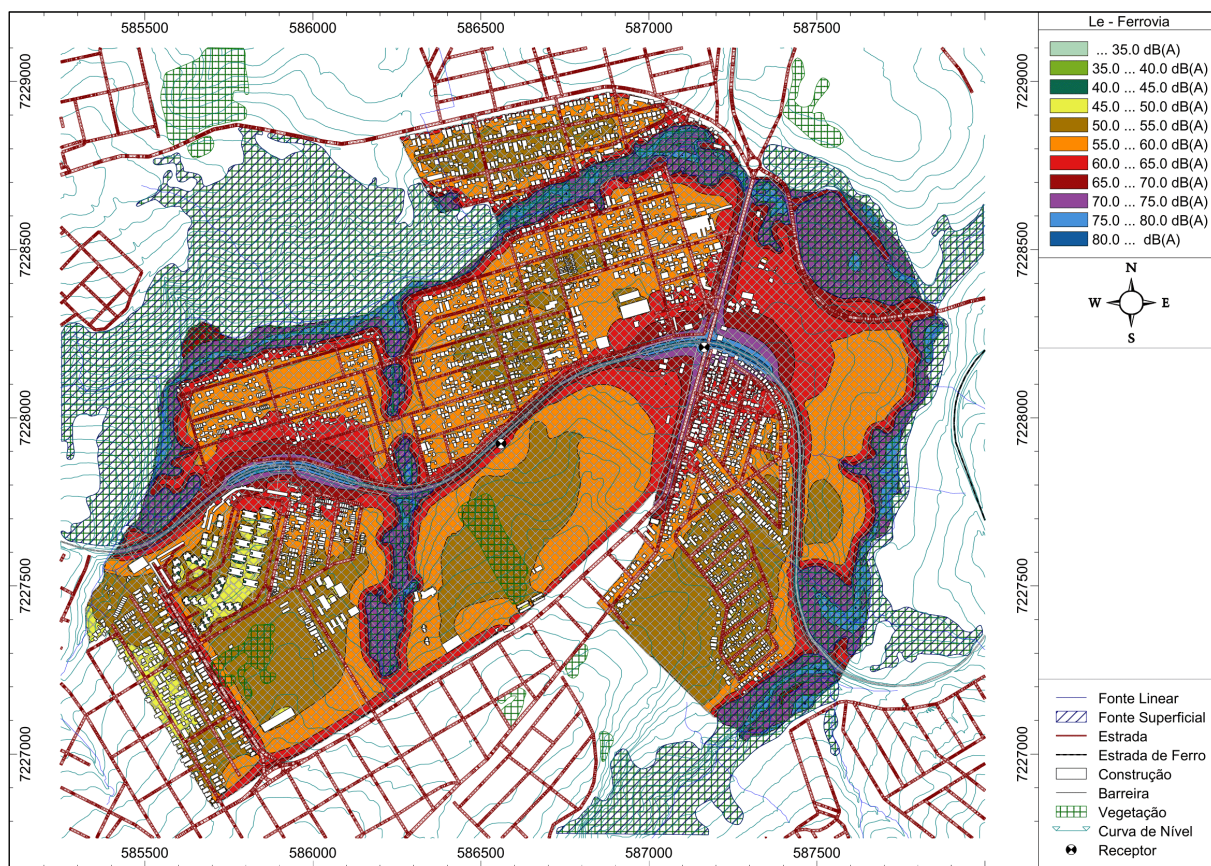
Por fim, quanto ao L_{den} , frente ao limiar de 55 dB(A) para mapeamento acústico e plano de ação da União Europeia (EU, 2002a), estima-se que 6.922 residentes (85,9%) estão expostos a níveis superiores.

FIGURA 55 – MAPA ACÚSTICO DO L_d DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 56 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_d DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

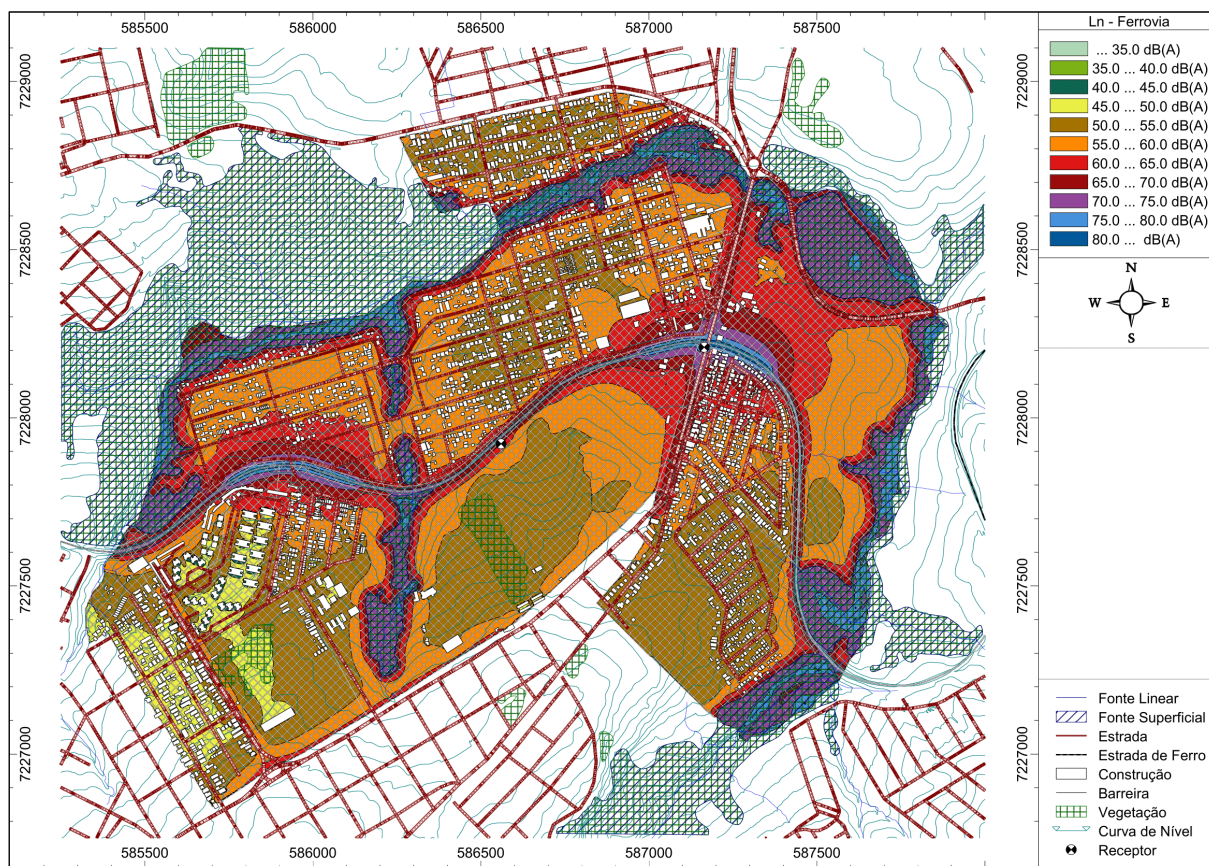
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 57 – MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 58 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_E DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

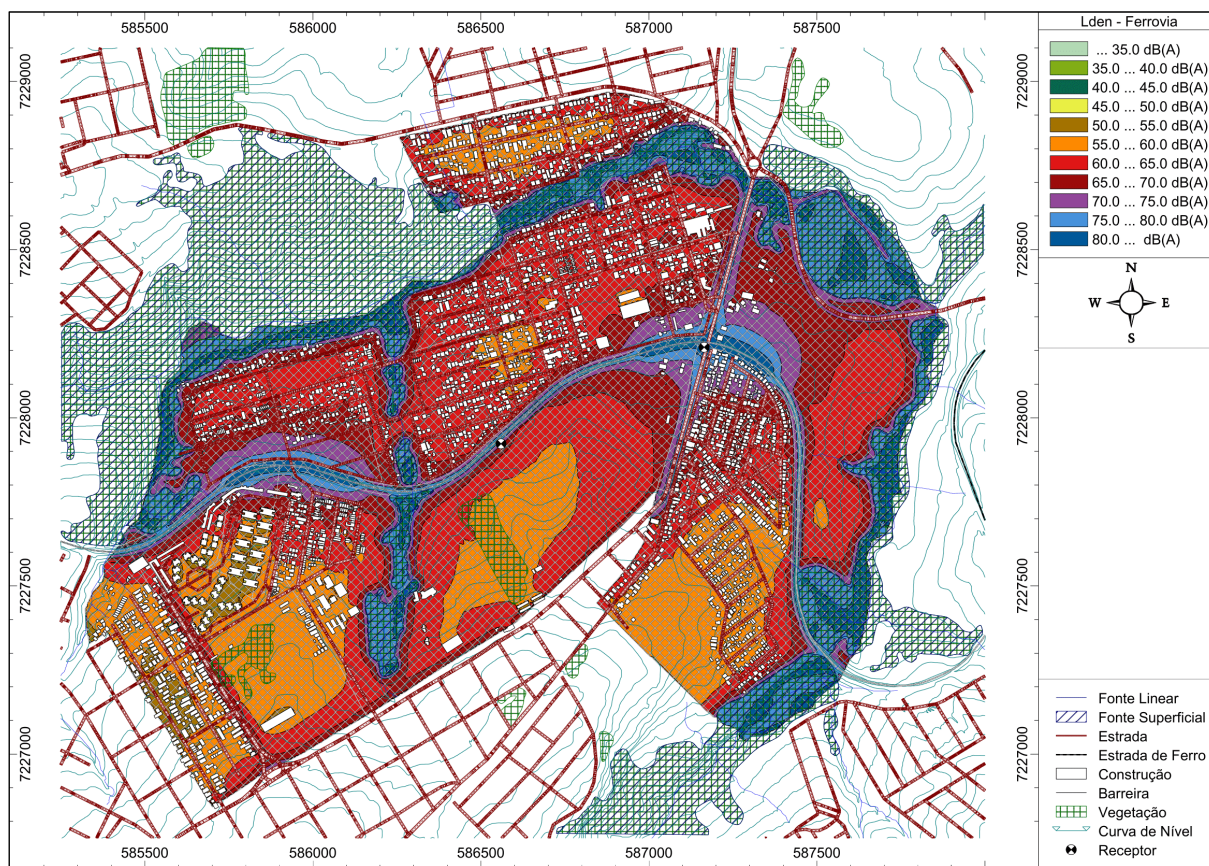
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 59 – MAPA ACÚSTICO DO L_n DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

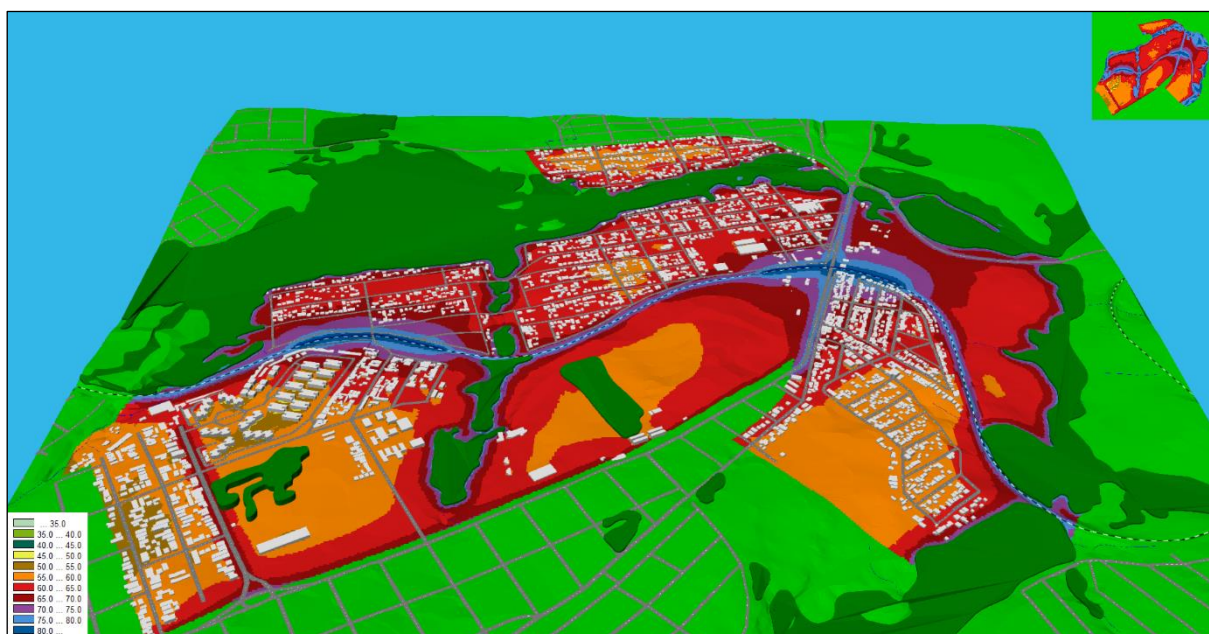
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 60 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_n DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 61 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

FONTE: O autor (2017).

FIGURA 62 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO.

FONTE: O autor (2017).

5.3.2 Planejamento acústico

Conforme exposto na metodologia, além dos dois cenários mapeamento acústico de diagnóstico para fins de calibração com dados medidos e conhecimento da situação atual, quatro outros cenários de mapeamento acústico para planejamento acústico:

- Eliminação da necessidade de acionamento de buzina;
- Instalação de barreiras acústicas de 4,5 metros de altura;
- Instalação de barreiras acústicas de 6 metros de altura;
- Otimização operacional.

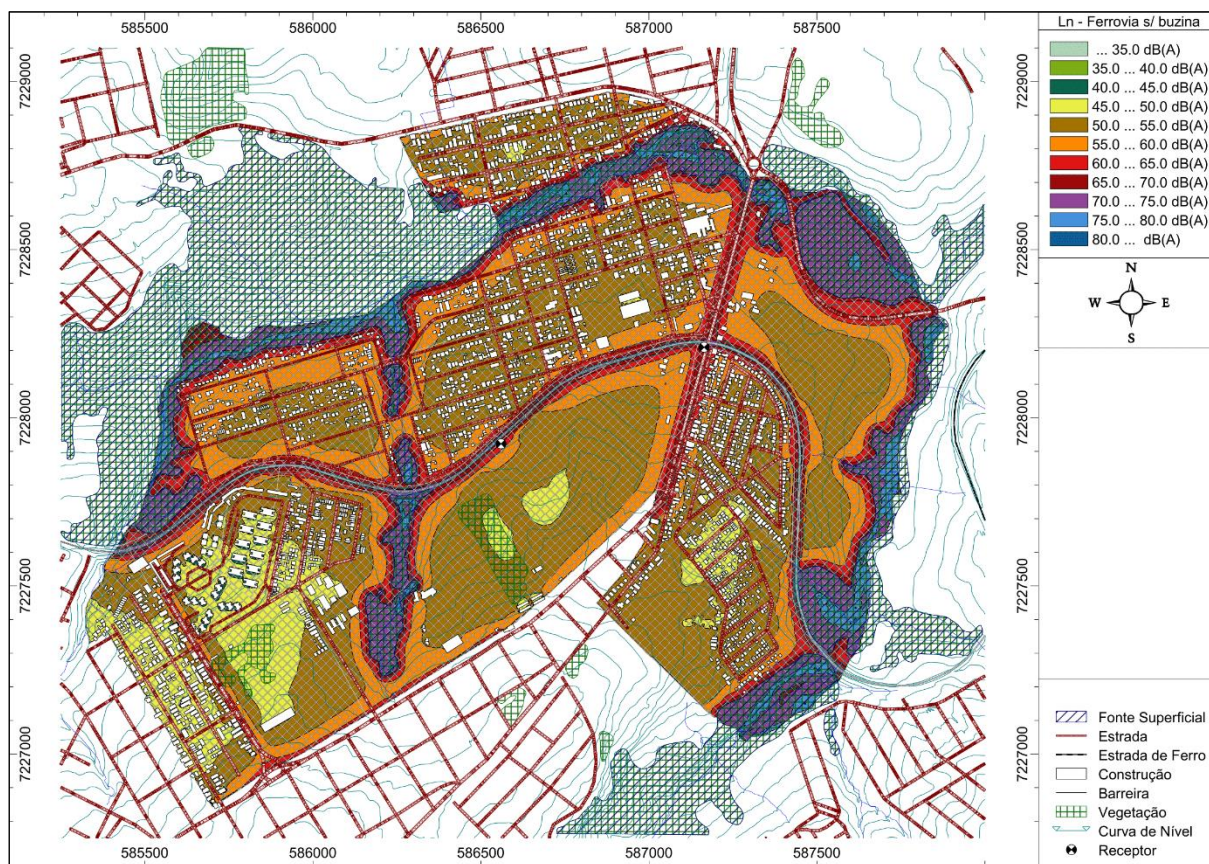
Entre os subitens 5.3.2.1 a 5.3.2.4 são apresentados, então, os mapas acústicos estratégicos para cada um dos quatro cenários.

Posteriormente, no subitem 5.3.2.5 são apresentados, e comparados entre si, resultados tabulados que revelam quantitativos da redução da exposição ao ruído (em relação ao som total) para cada um dos quatro cenários, juntamente com os resultados de um quinto cenário de planejamento acústico, que faz uso dos mapas estratégicos de som residual frente aos do som total:

- Construção de contorno ferroviário hipotético.

5.3.2.1 Eliminação da necessidade de acionamento da buzina

FIGURA 63 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 64 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.



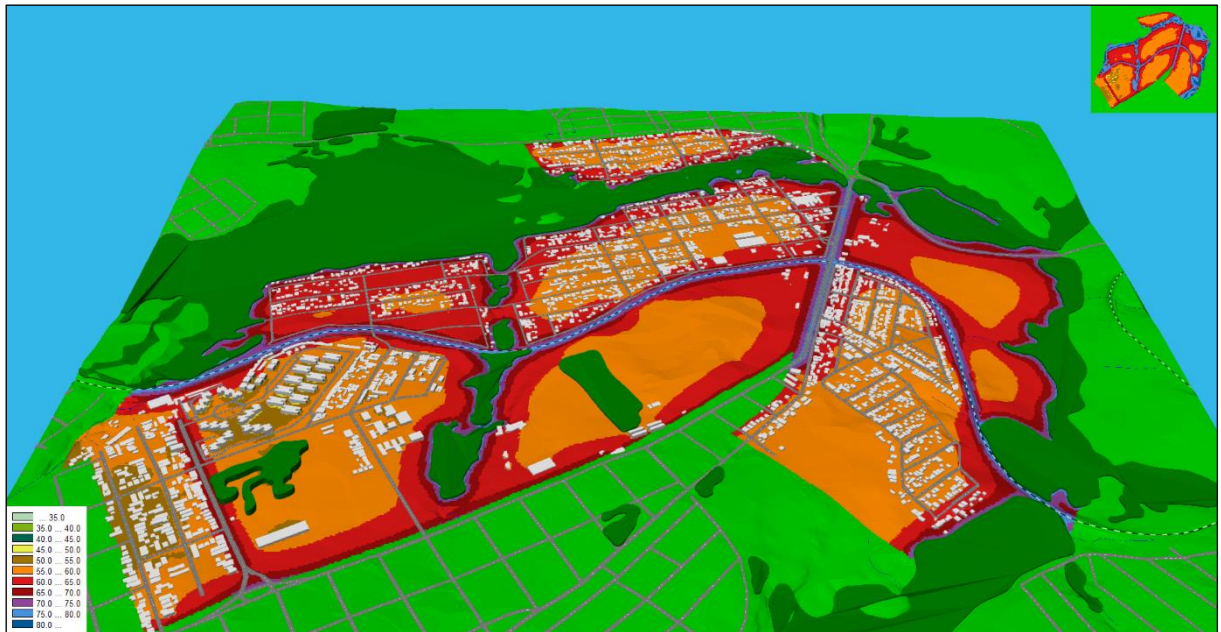
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 65 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 66 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DOS SONS RESIDUAL E ESPECÍFICO DO RUÍDO FERROVIÁRIO, EXCLUÍDO O SOM DA BUZINA.



FONTE: O autor (2017).

5.3.2.2 Instalação de barreiras acústicas de 4,5 m de altura

FIGURA 67 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.



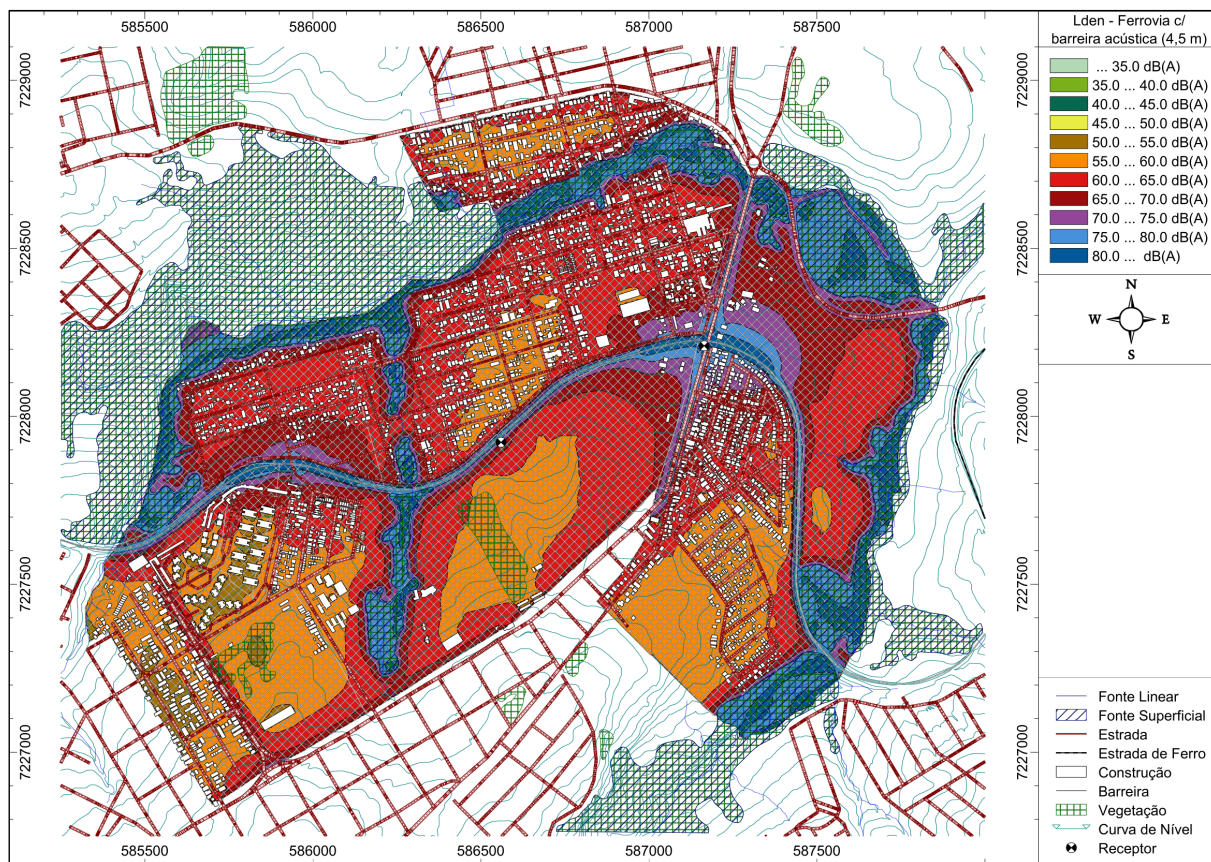
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 68 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.



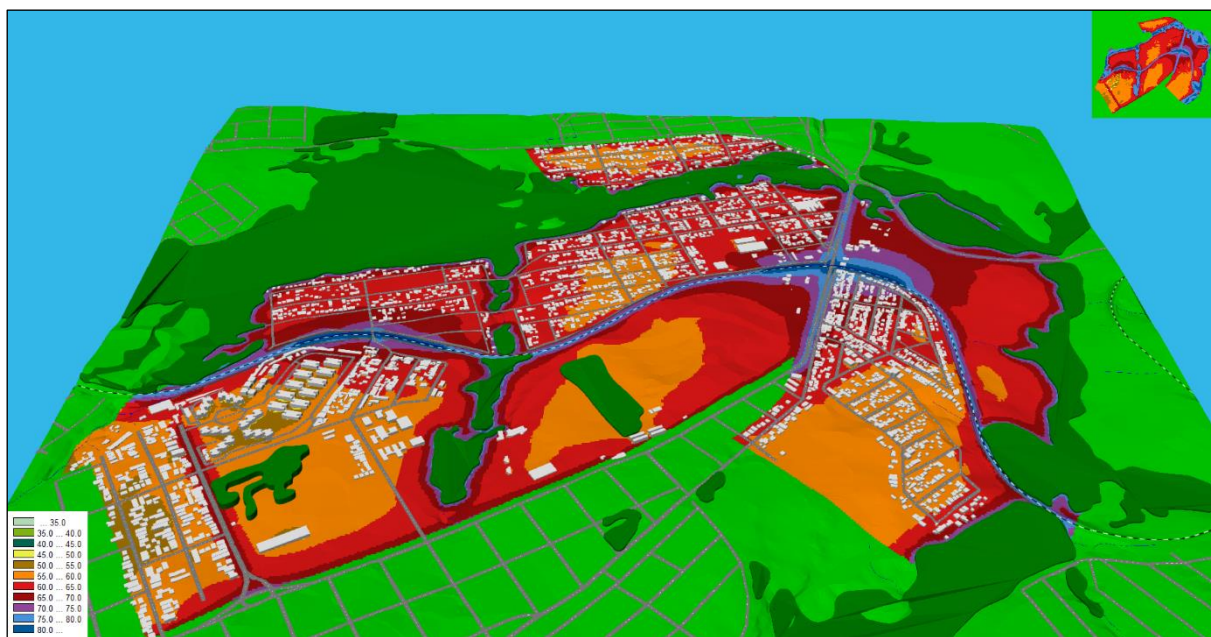
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 69 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.



FONTE: O autor (2017).

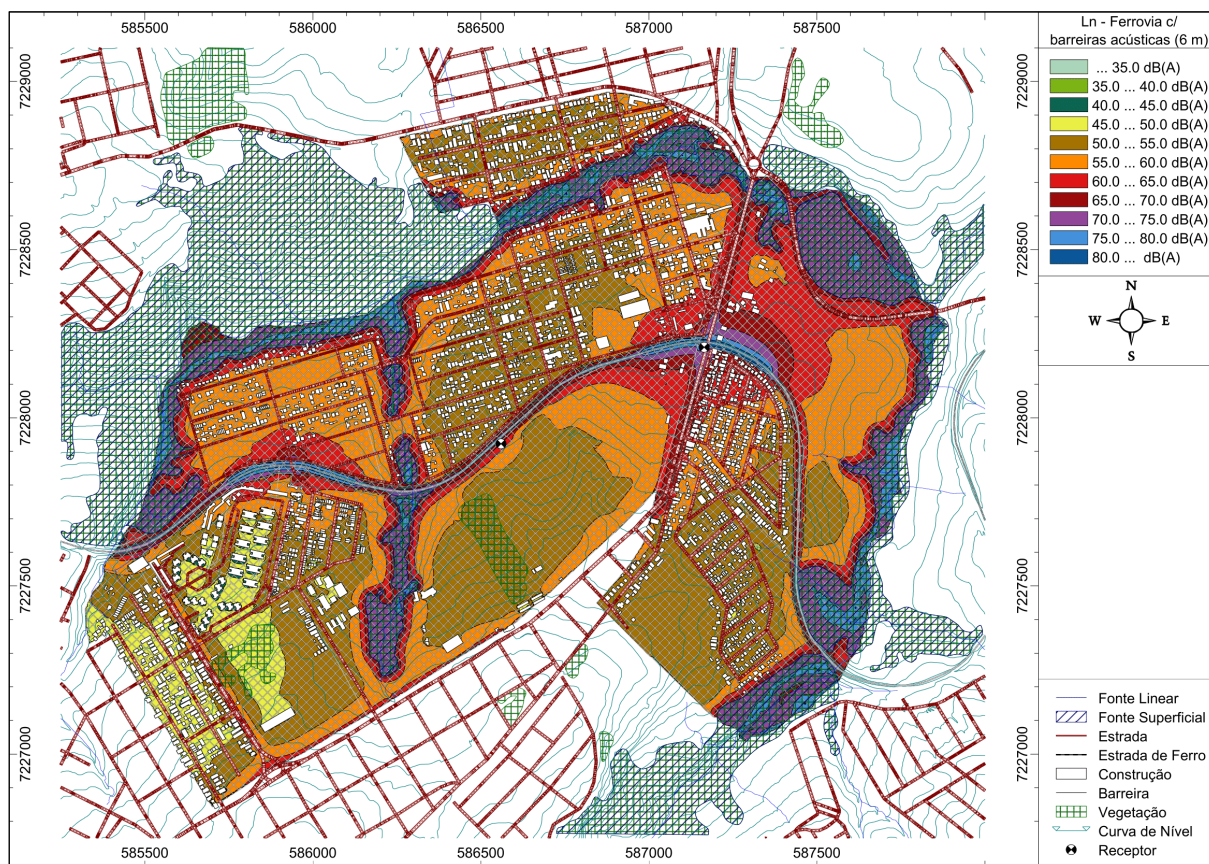
FIGURA 70 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.



FONTE: O autor (2017).

5.3.2.3 Instalação de barreiras acústicas de 6 m de altura

FIGURA 71 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.



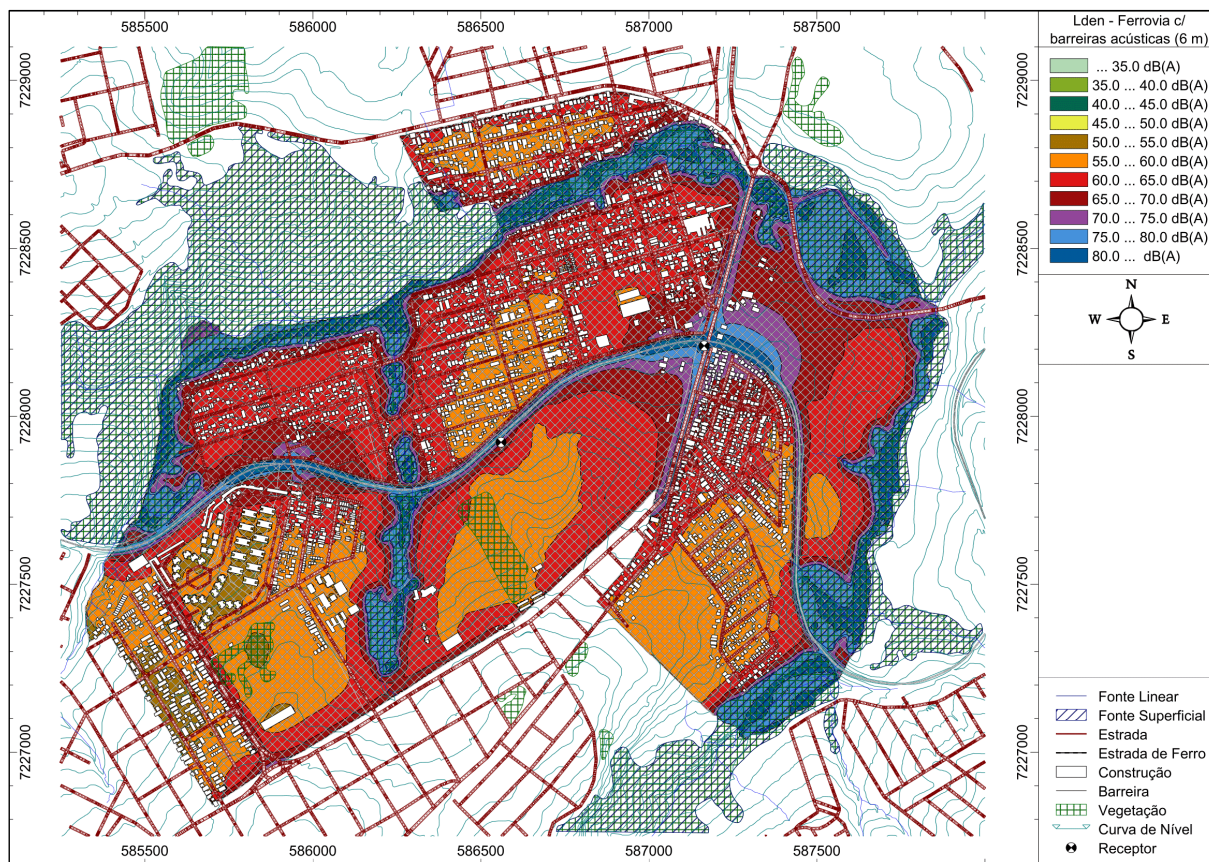
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 72 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.



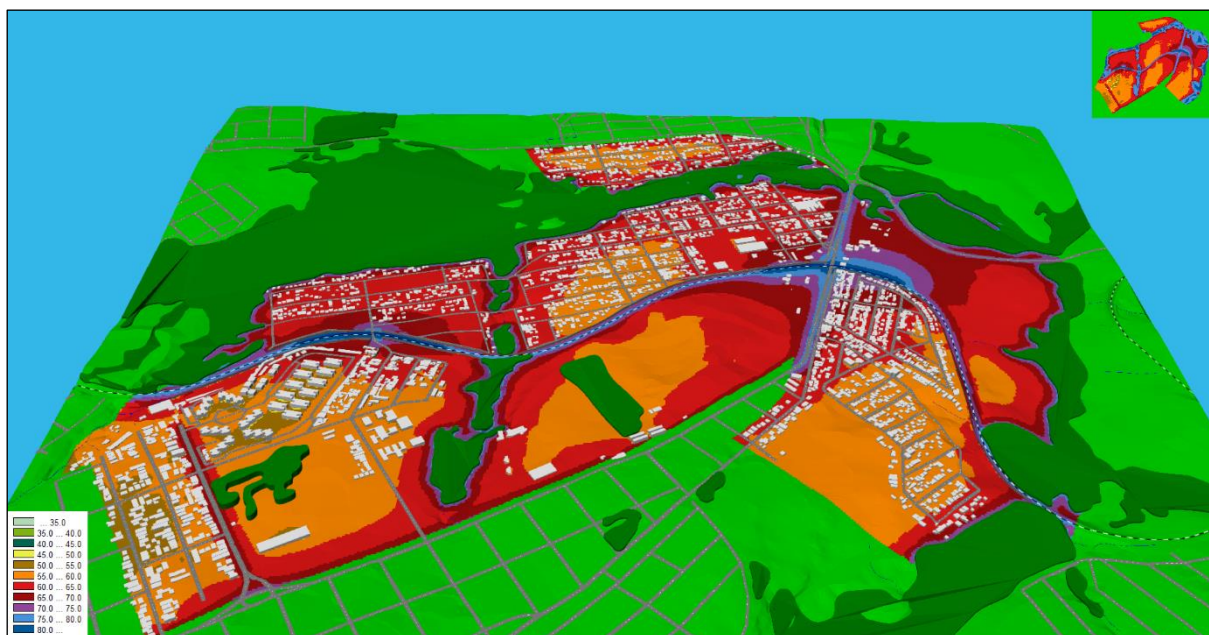
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 73 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.



FONTE: O autor (2017).

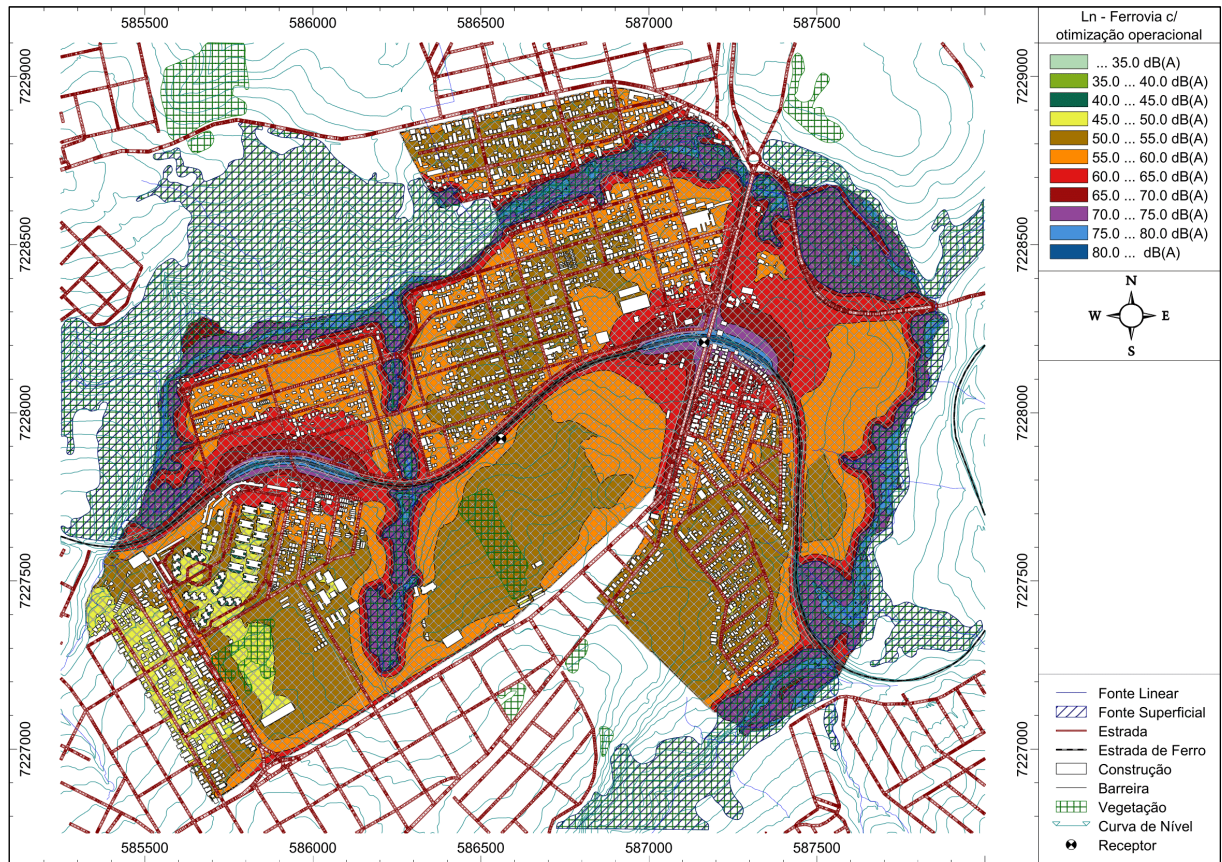
FIGURA 74 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.



FONTE: O autor (2017).

5.3.2.4 Otimização operacional

FIGURA 75 – MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.



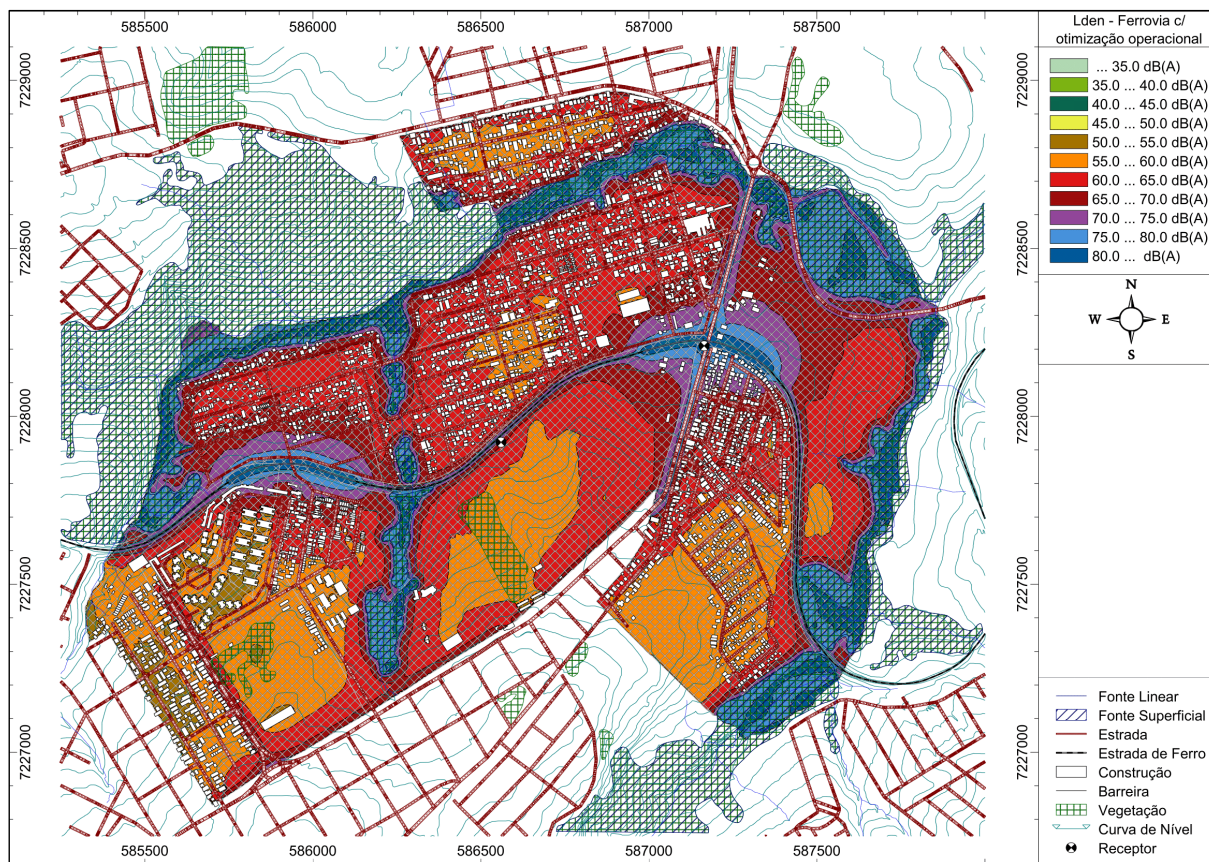
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 76 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_N DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.



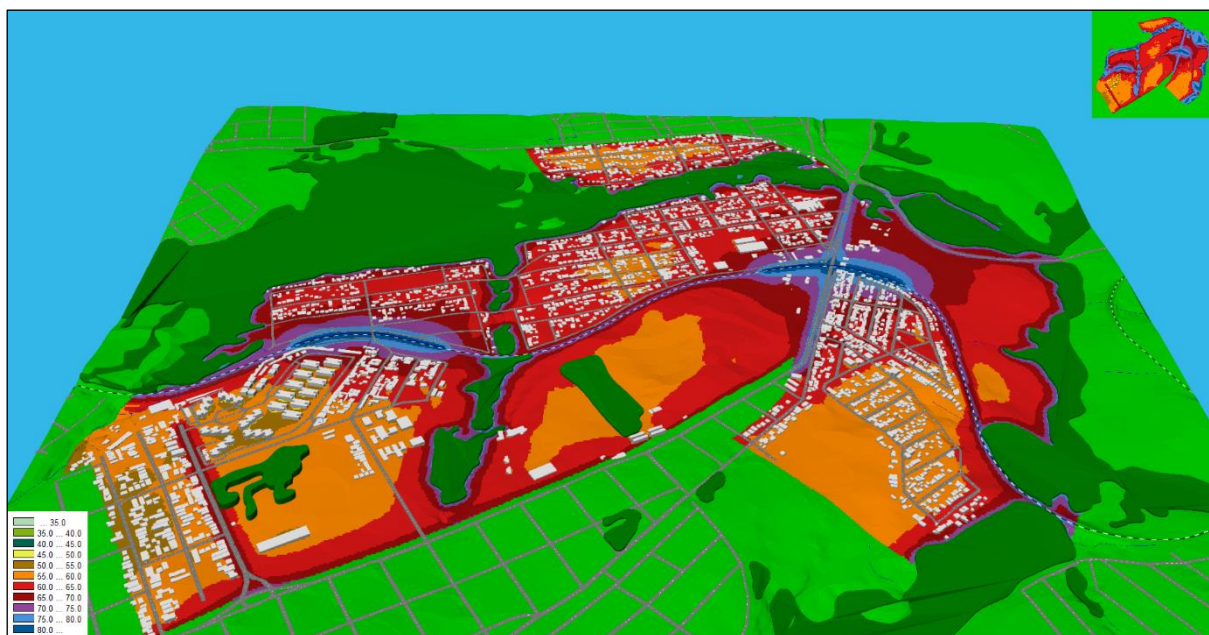
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 77 – MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 78 – PERSPECTIVA 3D DO MAPA ACÚSTICO DO L_{DEN} DO SOM TOTAL, INCLUINDO O RUÍDO FERROVIÁRIO, COM OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.



FONTE: O autor (2017).

5.3.2.5 Redução estimada da exposição ao ruído

A redução estimada da exposição ao ruído para cada um dos cinco cenários de planejamento acústico considerados frente à situação da área de estudo em 2017¹⁰ é apresentada por meio da TABELA 38 à TABELA 42 para oito diferentes faixas sonoras estabelecidas para L_n e L_{den} .

TABELA 38 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR ELIMINAÇÃO DA NECESSIDADE DE ACIONAMENTO DA BUZINA.

L_n - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	1	440	1.698	4.087	1.379	371	70	8
	6.226				1.827			
Variação	+1 +100%	+127 +1,6%	+436 +5,4%	+1.313 +16,3%	-1.282 -15,9%	-404 -5,0%	-121 -1,5%	-71 -0,9%
	+1.877 +23,3%				-1.877 -23,3%			
L_{den} - dB(A)	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Residentes	0	263	1.225	3.766	2.164	499	126	12
	1.488				6.566			
Variação	0 0,0%	+95 +1,2%	+261 +3,2%	+1.581 +19,6%	-1.035 -12,8%	-661 -8,2%	-144 -1,8%	-97 -1,2%
	+356 +4,4%				-356 -4,4%			

FONTE: O autor (2017).

TABELA 39 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR INSTALAÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS DE 4,5 M DE ALTURA.

L_n - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	0	333	1.319	3.078	2.440	651	187	46
	4.730				3.323			
Variação	0 0,0%	+21 +0,3%	+56 +0,7%	+304 +3,8%	-221 -2,7%	-123 -1,5%	-4 0,0%	-33 -0,4%
	+381 +4,7%				-381 -4,7%			
L_{den} - dB(A)	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Residentes	0	179	1.031	2.422	3.138	950	258	76
	1.210				6.844			
Variação	0 0,0%	+11 +0,1%	+67 +0,8%	+237 +2,9%	-61 -0,8%	-209 -2,6%	-13 -0,2%	-32 -0,4%
	+78 +1,0%				-78 -1,0%			

FONTE: O autor (2017).

¹⁰ Tratam-se de estimativas de residentes expostos a níveis de ruídos mediante consideração de dados populacionais recentemente estimados para o ano de 2017 (IBGE, 2017) e áreas efetivamente residenciais na área de estudo, portanto tais resultados são passíveis de desatualização não somente por alterações nas fontes sonoras, bem como na densidade populacional e no uso do solo.

TABELA 40 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR INSTALAÇÃO DE BARREIRAS ACÚSTICAS DE 6 M DE ALTURA.

L_n - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	1	354	1.371	3.196	2.378	569	162	24
	4.922				3.132			
Variação	0 0,0%	+42 +0,5%	+109 +1,3%	+422 +5,2%	-283 -3,5%	-206 -2,6%	-29 -0,4%	-55 -0,7%
	+573 +7,1%				-573 -7,1%			
L_{den} - dB(A)	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Residentes	0	194	1.115	2.609	3.038	821	239	38
	1.309				6.745			
Variação	0 0,0%	+26 +0,3%	+151 +1,9%	424 5,3%	-160 -2,0%	-339 -4,2%	-31 -0,4%	-71 -0,9%
	+177 +2,2%				-177 -2,2%			

FONTE: O autor (2017).

TABELA 41 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO POR MEIO DE OTIMIZAÇÃO OPERACIONAL.

L_n - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	1	331	1.339	2.983	2.390	743	189	78
	4.654				3.400			
Variação	0 0,0%	+18 +0,2%	+76 +0,9%	+210 +2,6%	-271 -3,4%	-31 -0,4%	-2 0,0%	-1 0,0%
	+305 +3,8%				-305 -3,8%			
L_{den} - dB(A)	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Residentes	0	183	1.035	2.328	3.038	1.098	265	107
	1.218				6.836			
Variação	0 0,0%	+15 +0,2%	+71 +0,9%	143 1,8%	-161 -2,0%	-62 -0,8%	-5 -0,1%	-1 0,0%
	+86 +1,1%				-86 -1,1%			

FONTE: O autor (2017).

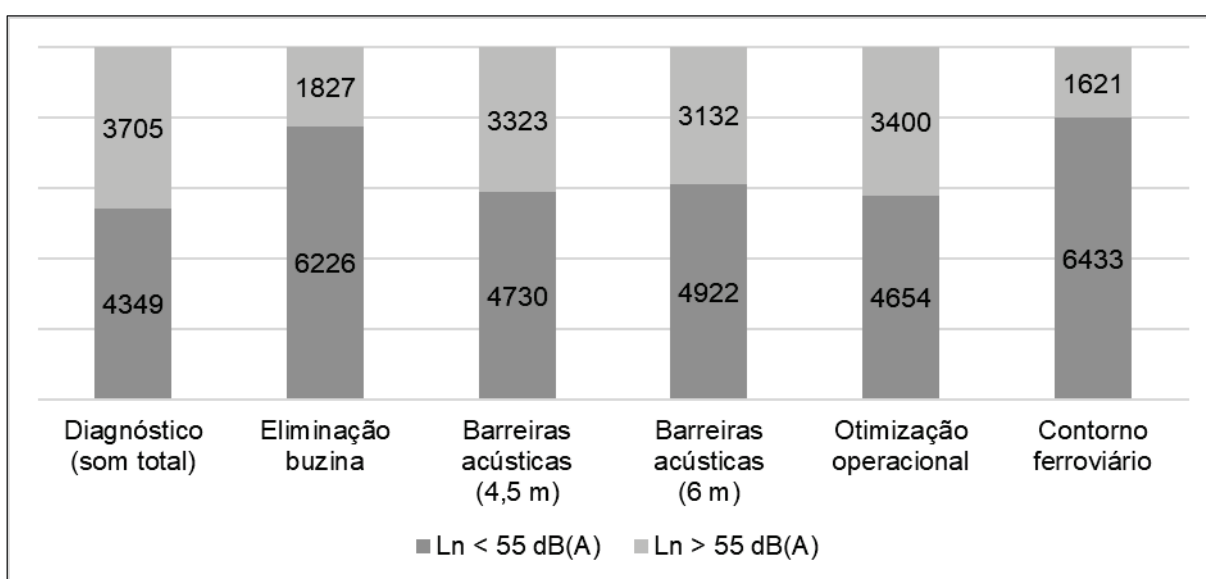
TABELA 42 – ESTIMATIVA DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO PELA CONSTRUÇÃO DE UM CONTORNO FERROVIÁRIO HIPOTÉTICO.

L_n - dB(A)	<40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	>70
Residentes	1	441	1.993	3.998	1.215	333	64	8
	6.433				1.621			
Variação	1 0,0%	+128 +1,6%	+730 +9,1%	+1.224 +15,2%	-1.445 -17,9%	-441 -5,5%	-127 -1,6%	-71 -0,9%
	+2.084 +25,9%				-2.084 -25,9%			
L_{den} - dB(A)	<45	45-50	50-55	55-60	60-65	65-70	70-75	>75
Residentes	0	263	1.251	4.088	1.879	448	113	11
	1.514				6.540			
Variação	0 0,0%	+95 +1,2%	+287 +3,6%	+1.904 +23,6%	-1.319 -16,4%	-712 -8,8%	-157 -2,0%	-97 -1,2%
	+382 +4,7%				-382 -4,7%			

FONTE: O autor (2017).

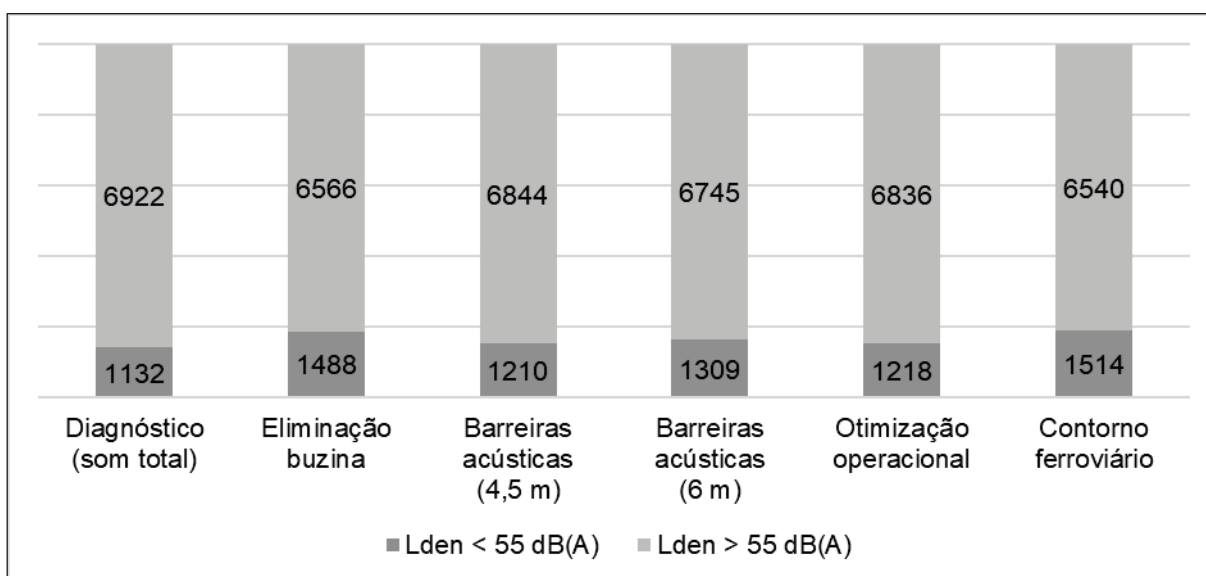
Para uma melhor visualização dos resultados para os diferentes cenários (incluindo o de diagnóstico do som total), são também apresentados graficamente por meio: da FIGURA 79, de exposição ao ruído em termos de L_n frente ao valor interino recomendado pela OMS de 55 dB(A) (WHO, 2009); da FIGURA 80, de exposição ao ruído em termos de L_{den} frente ao limiar da União Europeia de 55 dB(A) para mapeamento acústico e plano de ação (EU, 2002a) de 55 dB(A) (WHO, 2009); e da FIGURA 81, de estimativas de redução da exposição a L_n e L_{den} inferiores a 55 dB(A).

FIGURA 79 – RESIDENTES EXPOSTOS A L_n INFERIORES OU SUPERIORES A 55 DB(A).



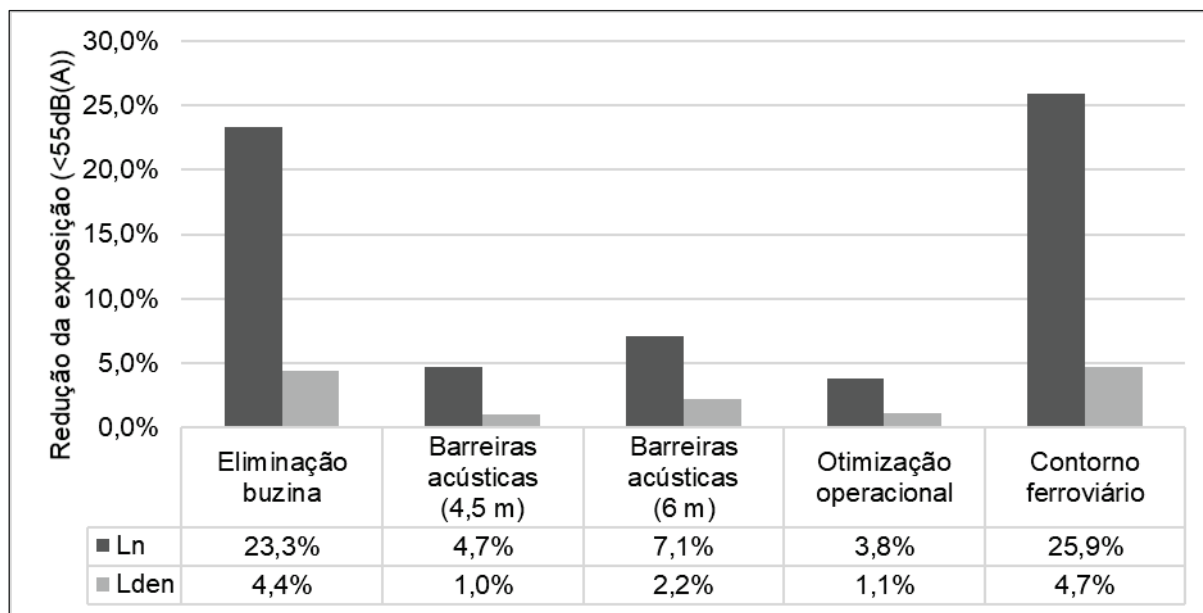
FONTE: O autor (2017).

FIGURA 80 – RESIDENTES EXPOSTOS A L_{DEN} INFERIORES OU SUPERIORES 55 DB(A).



FONTE: O autor (2017).

FIGURA 81 – ESTIMATIVAS DA REDUÇÃO DA EXPOSIÇÃO AO RUÍDO PARA CADA CENÁRIO DE PLANEJAMENTO ACÚSTICO.



FONTE: O autor (2017).

Frente aos resultados apresentados, percebe-se que os cenários que apresentam os maiores índices de redução da exposição ao ruído são aqueles que mais demandam estudos de viabilidade para uma eventual adoção a médio ou longo prazo: o de construção de um contorno ferroviário e o de eliminação da necessidade de acionamento da buzina.

Enquanto o primeiro implicaria na retirada da ferrovia como fonte sonora na área de estudo, o segundo poderia se dar por uma solução de engenharia para segregação de tráfegos rodoviário e ferroviário na interseção com a Avenida Monteiro Lobato, principal via urbana do entorno da área de estudo, e outra solução de engenharia, tal como a construção de um viaduto rodoviário, para fechamento da passagem em nível irregular.

Assim como para os demais cenários, a redução da exposição seria mais expressiva em termos de L_n que de L_{den} , indicador de longo período que considera penalizações para os períodos entardecer e noturno. Enquanto a redução de residentes expostos a L_n superiores a 55 dB(A) é estimada com o contorno ferroviário e eliminação da necessidade de acionamento da buzina em 25,9 e 23,3%, respectivamente, a redução com respeito ao L_{den} é de 4,7 e 4,4%.

Ainda assim, é válido frisar que, mesmo com a retirada da ferrovia, medida que mais demandaria esforços de planejamento para viabilização, com as demais fontes sonoras existentes na área de estudo, antrópicas e naturais, 1.621 residentes

(20,1%) ainda estariam expostos a L_n superiores a 55 dB(A) e 6.540 (81,2%) a L_{den} superiores a 55 dB(A).

Para fins de planejamento acústico, embora haja necessidade de estudos de viabilidade específicos e aprofundados, é sugerido que a eliminação da necessidade de acionamento da buzina por meio de soluções de engenharia, em detrimento de um contorno ferroviário, deva apresentar melhor custo x benefício, além de ser útil à prevenção de acidentes envolvendo veículos e trens nas passagens em nível.

Isto posto, os três demais cenários, de controle do ruído no meio de transmissão por meio da instalação de barreiras acústicas e de controle na fonte por meio da otimização operacional, apresentaram índices de redução da exposição a L_n superiores a 55 dB(A) inferiores a 10%.

Quanto a índices de exposição em termos de L_{den} superiores a 55 dB(A), a melhoria é de pequena magnitude, variando entre 1,0 e 2,2%, sendo a otimização operacional levemente mais eficiente que a barreira de 4,5 metros de altura em termos deste indicador sonoro.

A esta altura, para fins de planejamento acústico, faz-se válido salientar que os cenários de instalação de barreiras acústica preveem, apenas neste estudo de caso de 3.160 metros de extensão de ferrovia e de 3,22 km² de área de mapeamento acústico, a instalação de um total de 2.930 metros de obstáculos nas laterais habitadas da ferrovia, além da elevação de 780 metros de um muro existente aos fundos de um conjunto habitacional de elevada densidade habitacional.

Com isto, tal medida pode culminar num custo e num impacto ambiental de alteração da paisagem comparáveis ou até superiores aos das soluções de engenharia para eliminação da necessidade de acionamento da buzina, como a execução de um viaduto rodoviário sobre a ferrovia.

Além disso, há necessidade de se considerar que a otimização operacional, além de ser passível de comparação na área de estudo, em magnitude, à redução na exposição pela instalação de barreiras acústicas de 4,5 metros de altura, é o único plano de ação passível de repercutir na exposição ao ruído ao longo de centenas de quilômetros de extensão.

Por este motivo, trata-se de uma medida de controle cuja real magnitude da estimativa de redução da exposição ao ruído se dá em função da extensão da malha ferroviária avaliada por medições e mapeamento acústico, até o limite de sua extensão total.

Frente a todo o exposto, não somente com base nos resultados dos mapas acústicos, como também das medições de níveis de pressão sonora equivalentes de eventos de passagem de trens de carga, é possível afirmar que seria razoável, para a área de estudo, investimentos em prol da otimização operacional num horizonte máximo de cinco anos enquanto, paralelamente, são estudadas soluções de engenharia para que a necessidade de acionamento da buzina seja eliminado mediante execução dos projetos propostos.

Durante este período, é indispensável que a otimização operacional e seus resultados sejam acompanhados por meio de análises especializadas que abrangentes de medições de níveis sonoros e da elaboração e/ou atualização de mapas acústicos estratégicos.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a justificativa da necessidade de conhecimento aprofundado da geração de ruído ferroviário para propostas de medidas efetivas e possíveis, o presente estudo objetivou avaliar, por meio de um estudo de caso numa área de estudo, o ruído gerado pelo tráfego ferroviário, bem como a exposição de residentes a níveis sonoros na condição atual e em diferentes cenários para planejamento acústico.

Para tanto, o material rodante em operação no trecho ferroviário foi caracterizado por meio do volume de tráfego médio diário anual disponibilizado pela operadora ferroviária responsável pelo trecho, de 13,7 trens/dia entre 2016 e 2017, bem como por observações e registros, em campo e por meio de vídeo interpretação acerca de detalhes dos trens de carga cujos níveis sonoros de eventos de passagem foram medidos.

Foram registrados nas medições de níveis sonoros de eventos de passagens trens com 1 a 4 locomotivas, com média geral de 2,3 locomotivas por trem, e quantidades de vagões variando entre 65 e 107, com média de 82 vagões/ trem. Quanto à frota de locomotivas em tráfego, observou-se predomínio dos modelos ES43BBi, recém-fabricado, SD40, de elevada idade média e que vem sendo substituído por unidades do primeiro modelo, e de locomotivas de fabricação recente D9BB. Quanto a vagões, observou-se predomínio de vagões graneleiros de elevada média de idade, com percentual de vagões novos da ordem de apenas 4%.

Foram analisados os sons residuais em dois pontos de medição que diferiram, em prol dos objetivos do estudo, quanto às fontes sonoras atuantes em seu entorno. Enquanto no ponto M01, ao redor do qual praticamente inexistem fontes sonoras antrópicas além da ferrovia, foram registrados níveis de som residual entre 40 e 50 dB(A), com a inesperada constatação de níveis mais elevados ao entardecer e à noite por sons naturais de anuros em remanescentes florestais próximos, no ponto M02, situado próximo a uma importante via urbana foram registrados níveis da ordem de 70 dB(A).

Níveis sonoros de um total de 20 eventos de passagens de trens de carga foram também medidos e apresentaram variação superior a 10 dB(A) entre o menor e o maior, com média de 76,5 dB(A), valor reduzido a 72,4 dB(A) quando considerados no cálculo apenas os três menores valores registrados para cada sentido de tráfego. Anotações de campo, interpretações de filmagens e tratamento de resultados para

classificação dos principais elementos contribuintes aos níveis sonoros de eventos de passagem permitiram a detecção de oportunidades de melhoria no material rodante e/ou na via permanente que possam se traduzir em redução do ruído gerado.

Por fim, uma medição de evento de acionamento de buzina resultou, a 15 metros de distância do eixo da linha férrea, num nível máximo superior a 105 dB(A) e num nível de pressão sonora equivalente contínuo de 96 dB(A).

Com base em dados do tráfego ferroviário e de características do material rodante, juntamente com resultados de níveis sonoros medidos e demais informações relevantes obtidas ou registradas em campo, procedeu-se à parametrização para cálculo de mapas acústicos.

Por meio de calibração do mapeamento acústico com dados observados, uma boa acurácia foi atingida, com incertezas esperadas em acordo com o valor recomendado por Licitra e Memoli (2008), de até 4,6 dB(A). Os resultados revelam que, mesmo na ausência de ruído ferroviário, praticamente todos os residentes estão sujeitos a distúrbios do sono e que mais de 20% e mais de 81% dos residentes da área de estudo estão expostos a L_n e a L_{den} superiores a 55 dB(A), respectivamente. Quanto ao som total, incluindo a ferrovia, a condição atual é de 46% e 86% dos residentes expostos a L_n e a L_{den} superiores a 55 dB(A), respectivamente.

Por meio dos mapas acústicos estratégicos de cenários para planejamento acústico foi possível estimar quantitativamente a parcela de população que seria beneficiada pela adoção de medidas de controle do ruído em termos da redução de residentes expostos a faixas de níveis sonoros superiores a valores recomendados. Ao todo foram cinco medidas propostas e avaliadas: eliminação da buzina; barreiras acústicas de 4,5 m; barreiras acústicas de 6 m; otimização operacional; e construção de contorno ferroviário.

Embora o cenário de construção de contorno ferroviário tenha sido aquele com maior índice de redução da exposição ao ruído, conforme discussões apresentadas acredita-se que o cenário de eliminação da buzina, que apresentou o segundo maior índice de redução da exposição ao ruído parece ser aquele com melhor custo x benefício para implantação a médio prazo.

A curto prazo, conforme discutido com base nos resultados dos mapas estratégicos obtidos, julga-se mais eficaz investir em melhorias operacionais que se traduzam em controle de ruído na fonte e que culminem na redução da exposição de

ruídos ao longo de centenas de quilômetros de ferrovias do que na instalação de barreiras acústicas, salvo casos específicos.

Ainda assim, em prol do conhecimento cada vez mais aprofundado do controle do ruído possível mediante otimização operacional, fica recomendado, no âmbito do monitoramento mandatório executado pelas operadoras ferroviárias, que sejam continuadas análises especializadas abrangentes de medições de níveis sonoros e da elaboração e/ou atualização de mapas acústicos estratégicos.

Com isso, considera-se que este estudo atendeu satisfatoriamente aos objetivos a que se propôs e espera-se que sirva como alicerce aos avanços que o Brasil deve experimentar em avaliação do ruído ferroviário e planejamento acústico para controle da exposição ao ruído.

À pesquisa científica, recomenda-se que estudos futuros objetivem:

- Estabelecer “dicionários práticos” de fontes sonoras associadas ao ruído ferroviário;
- Analisar detalhadamente níveis sonoros de eventos de passagens de trens, mediante estatística aprofundada e com conjuntos amostrais suficientes, em toda a malha ferroviária brasileira, buscando correlação com aspectos operacionais a fim de que necessidades de ações corretivas ou oportunidades de controle de ruído na fonte sejam evidenciadas;
- Propor, com a metodologia baseada em medições e mapeamento acústico proposta neste estudo ou em outra que venha a ser proposta, planejamentos acústicos para redução da exposição ao ruído em áreas urbanas interceptadas por linhas do sistema ferroviário brasileiro.

REFERÊNCIAS

ABBOT, P.G.; NELSON, P.M. **Converting the UK traffic noise index LA10,18h to EU noise indices for noise mapping, Project Report PR/SE/451/02**. Transport Research Laboratory UK (TRL), 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). **Evolução do Transporte Ferroviário de Cargas**. Brasília: 2016. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/evolucao_do_transporte_ferrovuario_2016__ate_agosto.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2017.

_____. **Declaração de Rede de 2017 – Todas as Concessionárias**. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/dr_2017__todas_as_concessionarias.xlsx>. Acesso em: 02 fev. 2017.

ARANA, M.; GARCIA, A. A Social Survey on the Effects on Environmental Noise on the Residents of Pamplona, Spain. **Applied Acoustics**, Great Britain, v. 53, n. 4, p. 245-253, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade - Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16313**: Acústica – Terminologia. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16425-1**: Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora provenientes de sistemas de transportes Parte 1: Aspectos gerais. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR **16447**: Locomotiva – Buzina – Requisitos acústicos. Rio de Janeiro, 2016.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS (ANTF). **Informações gerais**. Brasília, 2017. Disponível em: <<http://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 14 set. 2017.

BARRON, R.F. **Industrial Noise Control and Acoustics**. New York; Basel: Marcel Dekker, Inc., 2003.

BELOJEVIC, G.; JACOVLEVIC, B.; ALESKSC, O. Subjective Reaction for Traffic Noise with Regard to some Personality Traits. **Environmental International**, Yugoslavia, v. 23, n. 2, p. 221-226, 1997.

BERANEK, L. L. **Noise and Vibration Control**. New York: McGraw Hill Book Company, 1971.

BERGLUND, B.; LINDVALL, T.; SCHWELLA, D. H. **Guidelines for Community Noise**. Geneva: World Health Organization (WHO), 1999.

BIES, D. A.; HANSEN, C. H. **Engineering Noise Control: Theory and Practice**. 3. ed. London; New York: Spon Press, c2003.

BISTAFA, S.R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRONZATTI, D. G. **Avaliação do ruído causado pelo transporte ferroviário na cidade de Ijuí/RS**. Ijuí: Trabalho de graduação em Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2009.

BRÜEL & KJÆR. **Environmental Noise**. Nerum, Denmark, 2000.

BUNN, F. **Avaliação da poluição sonora gerada pelo tráfego ferroviário na cidade de Curitiba**. Curitiba: Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Setor de tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2013.

BUNN, F.; ZANNIN, P.H.T. Assessment of railway noise in an urban setting. **Applied Acoustics**. v. 104, p. 16-23, 2016.

CALEY, M.; SAVERY, J.. In: INTERNATIONAL CONGRESS ON SOUND AND VIBRATION, 14th, **The case for spectral baseline noise monitoring for environmental noise assessment**. Cairns, Australia, 2007.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de Ferrovias 2015**. Brasília: CNT, 2015.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 001, de 8 de março de 1990. Dispõe sobre critérios de padrões de emissão de ruídos decorrentes de quaisquer atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas, inclusive as de propaganda política. **Diário Oficial da União**, DF, n. 63, 2 abr. 1990, Seção 1, p. 6408.

EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE (WG-AEN). **Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure**, Version 2, 2006.

EUROPEAN COMMISSION (EC). **On the implementation of the Environmental Noise Directive in accordance with article 11 of Directive 2002/49/EC, Report from the Commission to the European Parliament and The Council**. Brussels, 2011. Disponível em: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:52011DC0321&from=EN>>. Acesso em: 13 set. 2017.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). **Noise in Europe 2014, EEA Report No. 10/2014**. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2014. Disponível em: <http://www.eea.europa.eu/publications/noise-in-europe-2014/at_download/file>. Acesso em: 28 fev. 2017.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). Managing exposure to noise in Europe, EEA Briefing 01/2017. Luxembourg, 2017. Disponível em: <<https://www.eea.europa.eu/themes/human/noise/sub-sections/noise-in-europe-updated-population-exposure>>. Acesso em: 13 set. 2017.

EUROPEAN UNION (EU). Directive 2002/49/EC relating to the assessment and management of environmental noise. **Official Journal of the European Communities**, 2002a; L 189.

EUROPEAN UNION (EU). **Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002b. Disponível em: <<http://www.laerminfo.at/dam/jcr:fa8e45a3-ef5f-4b75-b0bf-bd7902c9f75c/Position%20paper%20on%20dose%20response%20relationships%20between%20transportation%20noise%20and%20annoyance%20-%202002.pdf>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

FAHY, F.; WALKER, J. **Fundamentals of noise and vibration**. London; New York: Spon, 1998.

FINEGOLD, S.F.; HARRIS, C.S.; VON GIERKE, H.E. Community annoyance and sleep disturbance: Updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise. **Noise Control Engineering Journal**. v. 42, p 25-30, 1994.

GERGES, S. N. Y. **Ruído: fundamentos e controle**. Primeira Edição. Florianópolis: 1992.

GERHARDT, H.C. Sound pressure level and radiation patterns of the vocalizations of some North American Frogs and Toads. **Journal of Comparative Physiology**. v. 102, p. 1-12, 1975.

VON GIERKE, H. E. Noise – how much is too much? **Noise Control Engineering**. v. 76 p. 24-34, 1976.

GRUBLIAUSKAS, R.; STRUKCINSKIENE, B.; RAISTENSKIS, J.; STRUKCINSKAITE; BUCKUS, R.; JANUSEVICIUS, T.; PEREIRA, P.A.S. Effects of urban rail noise level in a residential area. **Journal of Vibroengineering**. v. 16, n. 2, p. 987-996, 2014.

HARRIS, C.M. **Handbook of Noise Control**. New York: McGraw-Hill Book Company, 1979.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010: Características da população e dos domicílios - Resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Acompanha 1 CD-ROM. Disponível em: <http://servicodados.ibge.gov.br/Download/Download.ashx?http=1&u=biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios_cd.zip>. Acesso em: 23 ago. 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Ponta Grossa/PR**. Disponível em: <<http://cod.ibge.gov.br/6N1>>. Acesso em: 10 set. 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 1996-1: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures**. Geneva, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 1996-1: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise -- Part 1: Basic quantities and assessment procedures**. Geneva, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 1996-2: Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 2: Determination of environmental noise levels**. Geneva, 2017.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 9613-2: Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: General method of calculation**. Geneva, 1996.

KING, E.A.; MURPHY, E. Environmental noise – ‘Forgotten’ or ‘Ignored’ pollutant? **Applied Acoustics**. v. 112, p. 211-215, 2016.

KING, E.A.; RICE, H.J. The development of a practical framework for strategic noise mapping. **Applied Acoustics**. v. 70, p. 1116-1127, 2009.

KRYTER, K. D. Community annoyance from aircraft and ground vehicle noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 72, p. 1212-1242, 1982.

LICITRA, G.; MEMOLI, G. **Limits and advantages of good practice guide to noise mapping**. Forum Acusticum – Paris; 2008 [on CD].

LÓPEZ-PACHECO, M.G.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, L.P.; MOLINA-LOZANO, H. A method for environmental acoustic analysis improvement based on individual evaluation of common sources in urban areas. **Science of the Total Environment**. v. 468-469, p. 724-737, 2014.

LÓPEZ-PACHECO, M.G.; SÁNCHEZ-FERNÁNDEZ, L.P.; MOLINA-LOZANO, H.; SÁNCHEZ-PÉREZ, L.A. Predominant environmental noise classification over sound mixing based on source-specific dictionary. **Applied Acoustics**. v. 112, p. 171-180, 2016.

LOVE, E. K.; BEE, M.A. An experimental test of noise- dependent voice amplitude regulation in Cope’s grey treefrog, *Hyla chrysoscelis*. **Animal Behaviour**. v. 80, p. 509-515, 2010.

LUZZI, F.P.; CERVO, T.C.; SPECHT, L.P. Comportamento e análise do ruído ferroviário na cidade de Santa Maria. **The Journal of Transport Literature**. v. 9, n. 4, p. 10-14, 2015.

MAGAROTI, M. Todas as locomotivas: Frota de locomotivas recua pela primeira vez nos últimos 9 anos. **Revista Ferroviária (RF)**. São Paulo, v. 126, Ano 77 – Dez. 2016 / Jan. 2017, 2017. 68 p.

MARTINS, T. Todas as locomotivas: 3.289 locomotivas em operação. **Revista Ferroviária (RF)**. São Paulo, v. 118, Ano 76 – Dez. 2015 / Jan. 2016, 2016. 84 p.

MARTINS, T. Todos os vagões: Frota brasileira de vagões cresce mais de 5% em relação ao ano passado. **Revista Ferroviária (RF)**. São Paulo, v. 127, Ano 78 – Mar. / Abr. 2017, 2017. 64 p.

MIEDEMA, H.ME.; VOS, H. Exposure- response relationships for transportation noise. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 104, p 3432-3445, 1998.

MORILLAS, J. M. B.; ESCOBAR, V. G.; SIERRA, J.A.M.; GÓMEZ, R.V.; CARMONA, J.T. An environmental noise study in the city of Cáceres, Spain. **Applied Acoustics**. v. 63, n. 10, p. 1061-1070, 2002.

MIRANDA, F. Rumo deve incorporar mais 61 locomotivas e 650 novos vagões. **Revista Ferroviária (RF)**. São Paulo, v. 126, Ano 77 – Dez. 2016 / Jan. 2017, 2017. 68 p.

MURPHY, E.; KING, E.A.; RICE, H.J. Estimating human exposure to transport noise in central Dublin, Ireland. **Environment International**. v. 35, p 298-302, 2009.

MURPHY, E.; KING, E.A. **Environmental noise pollution: noise mapping, public health, and policy**. Burlington; San Diego: Elsevier, 2014.

PATHAK, V.; TRIPATHI, B.D.; MISHRA, V.K. Evaluation of traffic noise pollution and attitudes of exposed individuals in working place. **Atmospheric Environment**. v. 42, p 3892-3898, 2008.

PICCOLO, A.; PLUTINO, D.; CANNISTRARO, G. Evaluation and analysis of the environmental noise of Messina, Italy. **Applied Acoustics**. v. 66, p. 447-465, 2005.

SCHULTZ, T.J. Synthesis of social surveys on noise annoyance. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 64, p 337-405, 1978.

ROMEU, J.; GENESCÀ, M.; PÀMIES, T.; JIMÉNEZ, S. Street categorization for the estimation of day levels using short-term. **Applied Acoustics**. v. 72, p. 569-577, 2011.

RUMO. **Tempo De Percurso – Estação de: LUS; Estação até: LPJ. Período de Abrangência: 01/01/2012 a 01/01/2017**. Curitiba, 2017.

SOMMERHOFF, J.; RECUERO, M.; SUÁREZ, E. Community noise survey of the city of Valdivia, Chile. **Applied Acoustics**. v. 65, p. 643-656, 2004.

STATE OF CALIFORNIA. **Noise standards**. Sacramento: Department of Aeronautics, 1971.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Public health and welfare criteria for noise**. Washington: USEPA, 1973.

VÉR, I. L. Wheel/rail noise: impact noise generation by wheel and rail discontinuities. *Journal of Sound and Vibration*, v. 46, Issue 25, 1976.

VOS, P. **Railway Noise in Europe – State of The Art Report**. Paris: International Union of Railways, 2016. Disponível em: <http://www.uic.org/IMG/pdf/railway_noise_in_europe_2016_final.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2017.

VOS, P. Railway Noise. In: LICITRA, G. **Noise Mapping in the EU: models and procedures**. Boca Raton: CRC Press, 2013. P. 81-108.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Noise. Environmental Health Criteria Document No. 12**. Geneva: WHO, 1980.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Night noise guidelines for Europe**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe**. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2011.

ZANNIN, P.H.T.; DINIZ, F.B.; BARBOSA, W.A. Environmental noise pollution in the city of Curitiba, Brazil. **Applied Acoustics**. v. 63, p. 351-358, 2002.

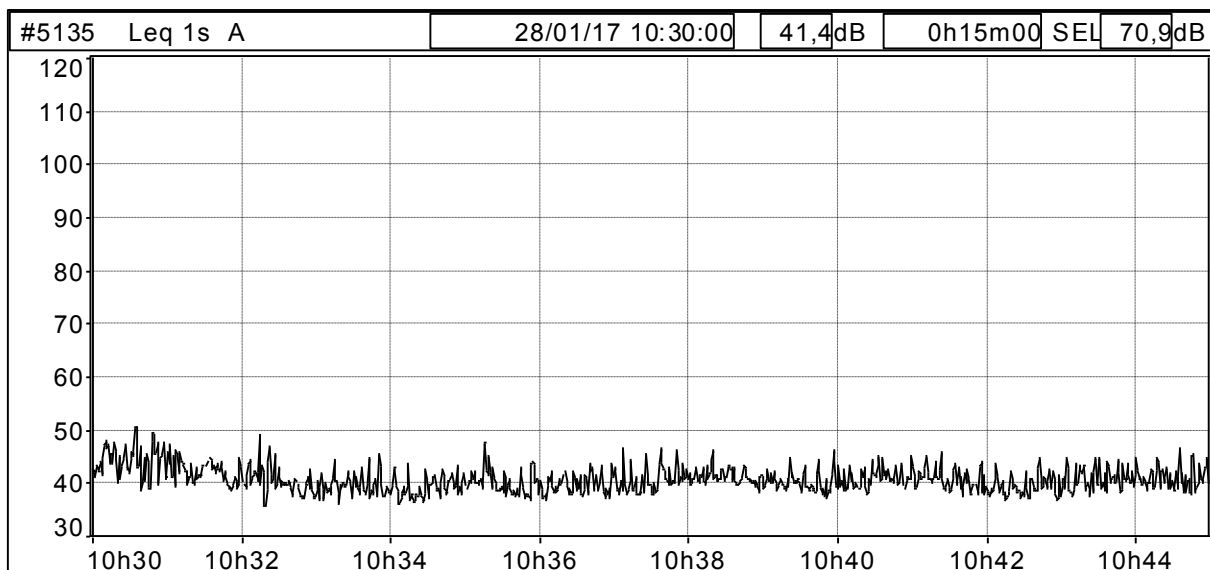
ZANNIN, P.H.T.; ENGEL, M.S.; FIEDLER, P.E.; BUNN, F. Characterization of environmental noise based on noise measurements, noise mapping and interviews: A case study at a university campus in Brazil. **Cities**. v. 31, p. 317-327, 2013.

ZANNIN, P.H.T.; BUNN, F. Noise annoyance trough railway traffic – a case study. **Journal of Environmental Health Science & Engineering**. v. 12, p. 1-12, 2014.

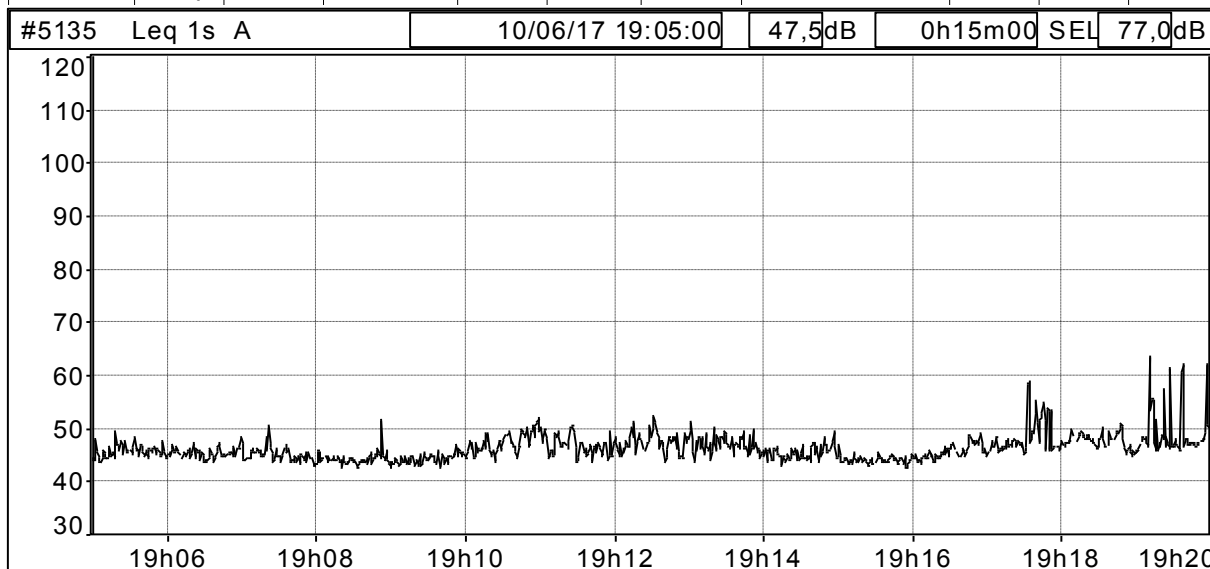
ZUO, F.; YE, L.; JOHNSON, S.; JOHNSON, J.; VARUGHESE, S.; COPES, R.; FUAN, L.; HAO, J. W.; REBECCA, H.; HONG, C. Temporal and spatial variability of traffic-related noise in the City of Toronto, Canada. **Science of the Total Environment**. v. 472, p. 1100-1107, 2014.

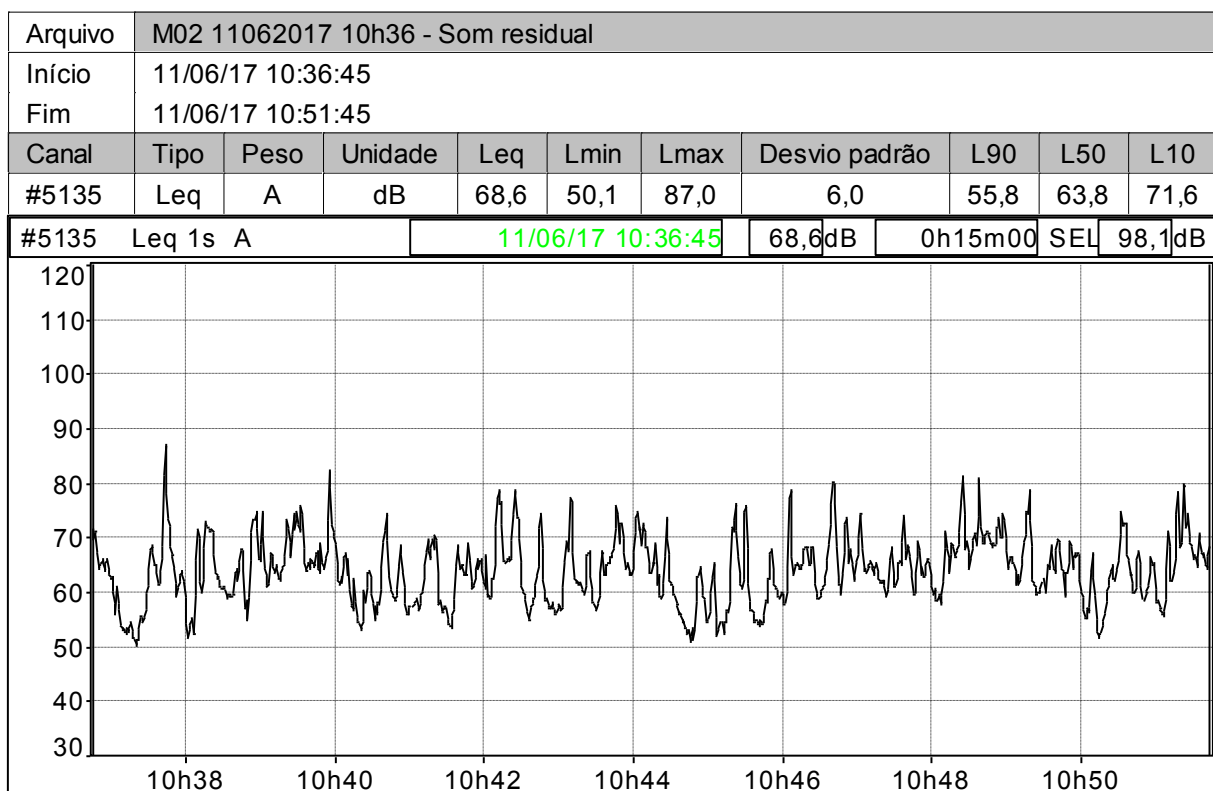
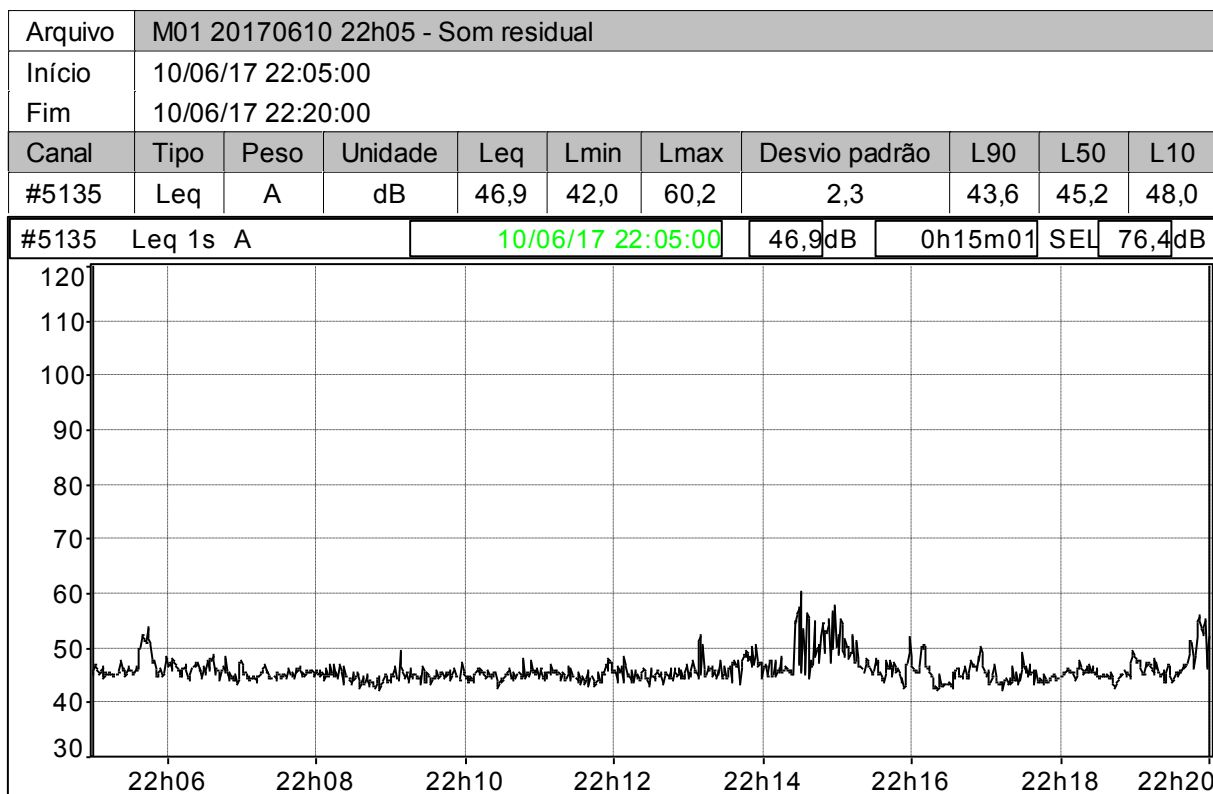
APÊNDICE A – INDICADORES E HISTÓRICOS NO TEMPO DAS MEDIÇÕES DE NÍVEIS DE RUÍDO SEM PASSAGEM DE COMPOSIÇÕES FERROVIÁRIAS

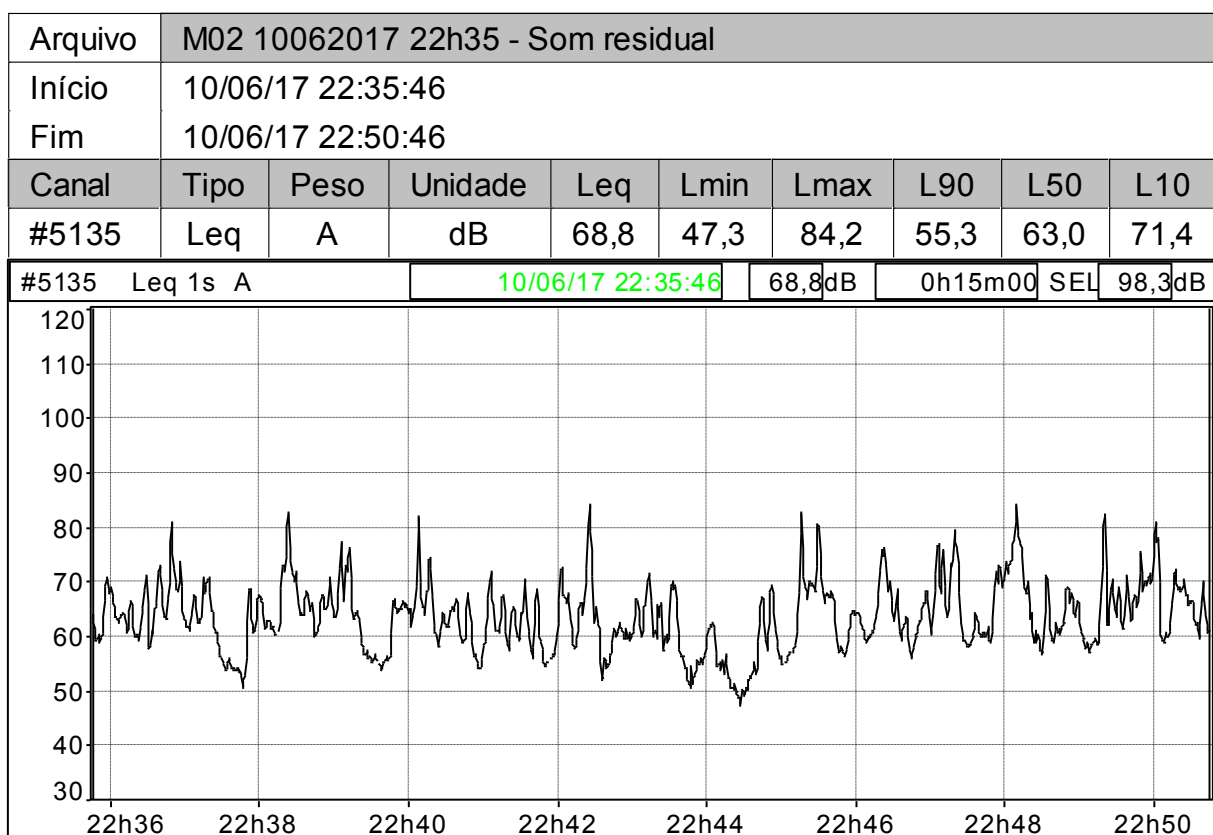
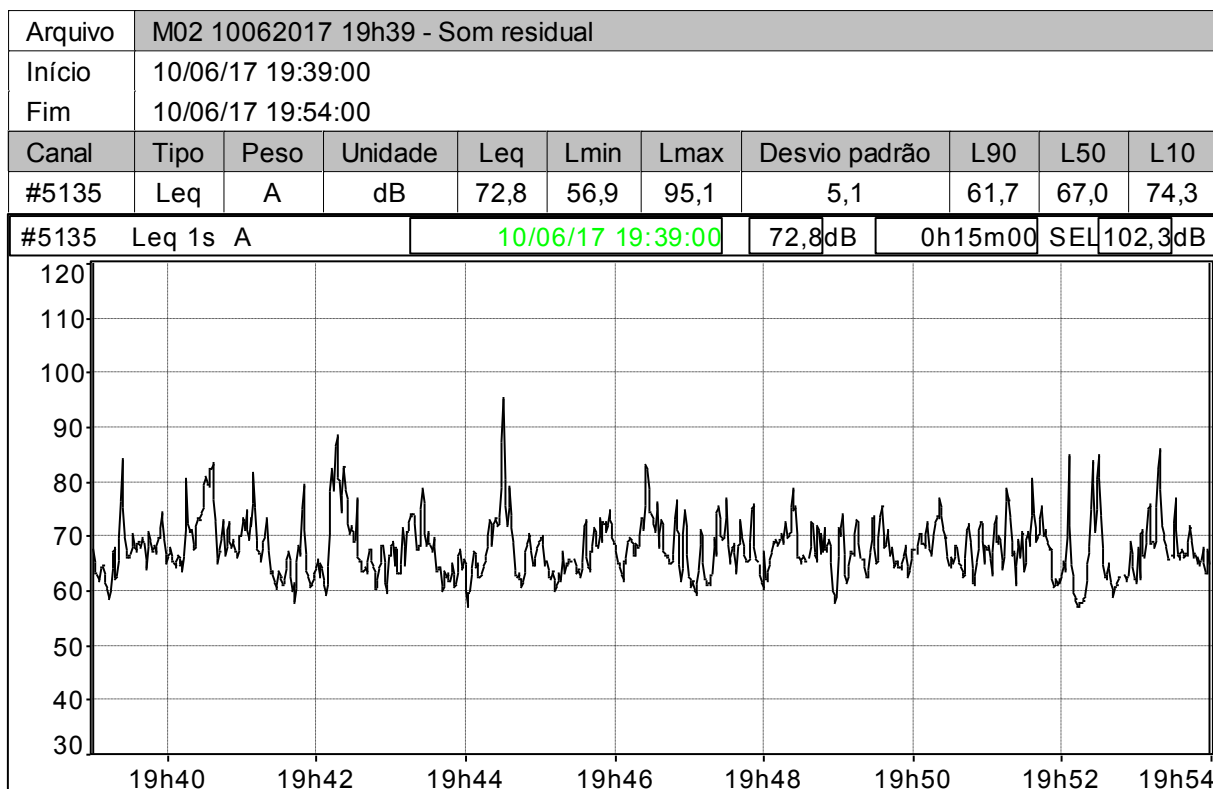
Arquivo	M01 29012017 10h30 - Som residual									
Início	28/01/17 10:30:00									
Fim	28/01/17 10:45:00									
Canal	Tipo	Peso	Unidade	Leq	Lmin	Lmax	Desvio padrão	L90	L50	L10
#5135	Leq	A	dB	41,4	35,7	50,6	2,4	37,8	40,1	43,7



Arquivo	M01 20170610 19h05 - Som residual									
Início	10/06/17 19:05:00									
Fim	10/06/17 19:20:00									
Canal	Tipo	Peso	Unidade	Leq	Lmin	Lmax	Desvio padrão	L90	L50	L10
#5135	Leq	A	dB	47,5	42,4	63,5	2,4	43,6	45,7	48,5







**APÊNDICE B – INDICADORES E HISTÓRICOS NO TEMPO DAS MEDIÇÕES DE
NÍVEIS DE RUÍDO DE PASSAGEM DE COMPOSIÇÕES FERROVIÁRIAS**

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #01						
Arquivo	22112016 15h27 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	22/11/16 15:27:37					
Fim	22/11/16 15:33:29					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	82,4	78,5	89,8	43,6	93,8	00:02:24
Buzina	69,6	57,3	0,7	51,2	80,0	00:00:21
Vagões	67,7	63,3	2,7	43,0	71,6	00:02:09
Roda-trilho	75,1	67,3	6,8	70,4	82,0	00:00:58
Global	79,0	79,0	100,0	43,0	93,8	00:05:52

#5135	Leq 1s A	22/11/16 15:27:37	79,0dB	0h05m53	SEL	104,5dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	---------

— Locomotiva(s) — Buzina — Roda-trilho — Vagões

Arquivo	221116 15h27 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	22/11/16 15:27:37					
Fim	22/11/16 15:33:29					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	82,4	78,5	90,4	43,6	93,8	00:02:24
Roda-trilho	75,1	67,3	6,8	70,4	82,0	00:00:58
Vagões	67,7	63,3	2,7	43,0	71,6	00:02:09
Global	79,2	79,0	100,0	43,0	93,8	00:05:31

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #02						
Arquivo	23112016 10h33 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 10:33:29					
Fim	23/11/16 10:38:05					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	82,0	77,1	74,7	49,2	94,1	00:01:29
Buzina	66,5	51,1	0,2	56,4	71,2	00:00:08
Vagões	69,1	65,7	5,4	48,6	72,6	00:02:05
Roda-trilho	78,4	71,3	19,7	70,2	87,5	00:00:54
Global	78,4	78,4	100,0	48,6	94,1	00:04:36

#5135	Leq 1s A	23/11/16 10:33:29	78,4dB	0h04m36	SEL	102,8dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	---------

Legend: Locomotiva(s) (green solid line), Buzina (purple solid line), Roda-trilho (cyan dashed line), Vagões (blue solid line)

Arquivo	231116 10h33 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 10:33:29					
Fim	23/11/16 10:38:05					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	82,0	77,1	74,9	49,2	94,1	00:01:29
Roda-trilho	78,4	71,3	19,7	70,2	87,5	00:00:54
Vagões	69,1	65,7	5,4	48,6	72,6	00:02:05
Global	78,5	78,3	100,0	48,6	94,1	00:04:28

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #03						
Arquivo	23112016 11h36 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 11:36:45					
Fim	23/11/16 11:39:53					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	72,7	65,6	14,9	43,4	81,4	00:00:37
Buzina	85,6	71,3	54,5	48,1	91,7	00:00:07
Vagões	69,6	68,4	28,1	44,3	78,2	00:02:21
Roda-trilho	75,9	57,9	2,5	71,6	77,8	00:00:03
Global	73,9	73,9	100,0	43,4	91,7	00:03:08

#5135	Leq 1s A	23/11/16 11:36:45	73,9dB	0h03m09	SEL	96,6dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	--------

— Locomotiva(s) — Buzina — Vagões — Roda-trilho

Arquivo	231116 11h36 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 11:36:45					
Fim	23/11/16 11:39:53					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	72,7	65,6	32,7	43,4	81,4	00:00:37
Vagões	69,6	68,4	61,7	44,3	78,2	00:02:21
Roda-trilho	75,9	57,9	5,6	71,6	77,8	00:00:03
Global	70,6	70,5	100,0	43,4	81,4	00:03:01

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #04						
Arquivo	23112016 15h23 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 15:23:19					
Fim	23/11/16 15:29:07					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	76,2	69,7	65,7	43,4	86,5	00:01:18
Buzina	77,1	61,2	9,4	63,5	83,1	00:00:09
Vagões	66,3	65,1	22,6	43,1	71,2	00:04:19
Roda-trilho	77,6	55,2	2,3	71,1	80,1	00:00:02
Global	71,5	71,5	100,0	43,1	86,5	00:05:48

#5135	Leq 1s A	23/11/16 15:23:19	71,5 dB	0h05m49	SEL	96,9 dB
-------	----------	-------------------	---------	---------	-----	---------

— Locomotiva(s)	— Buzina	— Vagões	— Roda-trilho
-----------------	----------	----------	---------------

Arquivo	231116 15h23 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 15:23:19					
Fim	23/11/16 15:29:07					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	76,2	69,7	72,5	43,4	86,5	00:01:18
Vagões	66,3	65,1	24,9	43,1	71,2	00:04:19
Roda-trilho	77,6	55,2	2,6	71,1	80,1	00:00:02
Global	71,2	71,1	100,0	43,1	86,5	00:05:39

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #05						
Arquivo	23112016 16h47 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 16:47:17					
Fim	23/11/16 16:52:07					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	80,8	75,5	64,4	43,3	90,6	00:01:26
Buzina	75,0	62,7	3,4	56,8	81,0	00:00:17
Vagões	64,6	61,4	2,5	47,4	71,4	00:02:21
Roda-trilho	80,1	72,1	29,8	69,9	87,7	00:00:46
Global	77,4	77,4	100,0	43,3	90,6	00:04:50

#5135	Leq 1s A	23/11/16 16:47:17	77,4dB	0h04m51	SEL	102,0dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	---------

— Locomotiva(s) — Buzina — Roda-trilho — Vagões

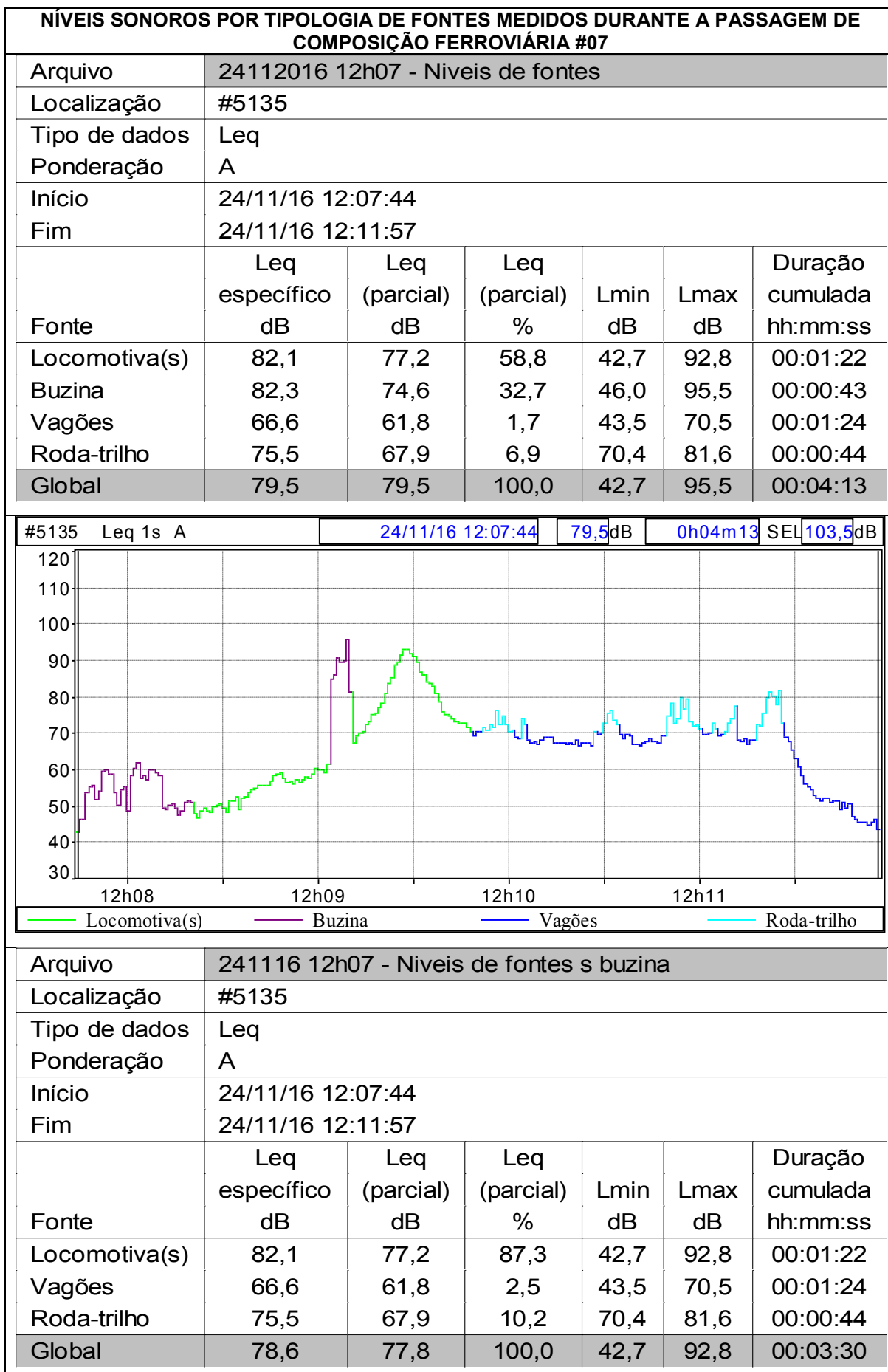
Arquivo	231116 16h47 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	23/11/16 16:47:17					
Fim	23/11/16 16:52:07					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	80,8	75,5	66,6	43,3	90,6	00:01:26
Roda-trilho	80,1	72,1	30,8	69,9	87,7	00:00:46
Vagões	64,6	61,4	2,6	47,4	71,4	00:02:21
Global	77,5	77,3	100,0	43,3	90,6	00:04:33

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #06						
Arquivo	24112016 11h15 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 11:15:24					
Fim	24/11/16 11:19:51					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	78,5	70,9	14,4	43,0	87,2	00:00:47
Buzina	92,1	78,2	77,1	65,2	101,5	00:00:11
Vagões	69,3	68,0	7,3	42,1	73,5	00:03:17
Roda-trilho	74,0	60,5	1,3	71,0	78,1	00:00:12
Global	79,4	79,4	100,0	42,1	101,5	00:04:27

#5135	Leq 1s A	24/11/16 11:15:24	79,4dB	0h04m27	SEL	103,6dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	---------

— Locomotiva(s)	— Buzina	— Vagões	— Roda-trilho
-----------------	----------	----------	---------------

Arquivo	241116 11h15 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 11:15:24					
Fim	24/11/16 11:19:51					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	78,5	70,9	62,7	43,0	87,2	00:00:47
Vagões	69,3	68,0	31,7	42,1	73,5	00:03:17
Roda-trilho	74,0	60,5	5,7	71,0	78,1	00:00:12
Global	73,2	73,0	100,0	42,1	87,2	00:04:16



NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #08						
Arquivo	24112016 14h06 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 14:06:14					
Fim	24/11/16 14:10:41					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	77,1	72,3	73,2	42,6	87,7	00:01:28
Buzina	66,7	49,4	0,4	60,4	70,0	00:00:05
Vagões	69,8	67,9	26,4	43,4	79,6	00:02:54
Global	73,7	73,7	100,0	42,6	87,7	00:04:27

#5135	Leq 1s A	24/11/16 14:06:14	73,7dB	0h04m27	SEL	97,9dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	--------

Legend: Locomotiva(s) (green line), Buzina (purple line), Vagões (blue line)

Arquivo	241116 14h06 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 14:06:14					
Fim	24/11/16 14:10:41					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	77,1	72,3	73,5	42,6	87,7	00:01:28
Vagões	69,8	67,9	26,5	43,4	79,6	00:02:54
Global	73,7	73,7	100,0	42,6	87,7	00:04:22

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #09						
Arquivo	24112016 18h02 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 18:02:05					
Fim	24/11/16 18:06:17					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	78,3	74,3	76,9	42,2	90,6	00:01:41
Buzina	59,1	47,1	0,1	54,9	64,6	00:00:16
Vagões	71,6	68,9	22,0	42,9	75,1	00:02:14
Roda-trilho	79,2	55,2	0,9	79,2	79,2	00:00:01
Global	75,5	75,5	100,0	42,2	90,6	00:04:12

#5135	Leq 1s A	24/11/16 18:02:05	75,5dB	0h04m12	SEL	99,5dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	--------

— Locomotiva(s) — Buzina — Vagões — Roda-trilho

Arquivo	241116 18h02 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 18:02:05					
Fim	24/11/16 18:06:17					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	78,3	74,3	77,0	42,2	90,6	00:01:41
Vagões	71,6	68,9	22,0	42,9	75,1	00:02:14
Roda-trilho	79,2	55,2	0,9	79,2	79,2	00:00:01
Global	75,8	75,5	100,0	42,2	90,6	00:03:56

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #10						
Arquivo	24112016 19h23 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 19:23:23					
Fim	24/11/16 19:28:53					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	82,3	78,7	85,0	43,4	94,0	00:02:26
Buzina	68,9	55,5	0,4	59,0	73,9	00:00:15
Vagões	66,7	60,4	1,3	43,0	71,4	00:01:18
Roda-trilho	76,3	70,7	13,3	63,6	87,5	00:01:31
Global	79,4	79,4	100,0	43,0	94,0	00:05:30

#5135	Leq 1s A	24/11/16 19:23:23	79,4 dB	0h05m30	SEL 104,6 dB
-------	----------	-------------------	---------	---------	--------------

— Locomotiva(s)	— Buzina	— Vagões	— Roda-trilho
-----------------	----------	----------	---------------

Arquivo	241116 19h23 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	24/11/16 19:23:23					
Fim	24/11/16 19:28:53					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	82,3	78,7	85,3	43,4	94,0	00:02:26
Vagões	66,7	60,4	1,3	43,0	71,4	00:01:18
Roda-trilho	76,3	70,7	13,4	63,6	87,5	00:01:31
Global	79,6	79,4	100,0	43,0	94,0	00:05:15

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #11						
Arquivo	28012017 10h04 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	28/01/17 10:04:53					
Fim	28/01/17 10:08:52					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	84,9	80,7	91,6	44,6	96,4	00:01:30
Buzina	58,7	46,7	0,0	47,6	63,5	00:00:15
Vagões	72,3	69,0	6,2	43,0	81,4	00:01:53
Roda-trilho	74,9	64,4	2,2	70,0	80,0	00:00:21
Global	81,0	81,0	100,0	43,0	96,4	00:03:59

#5135	Leq 1s A	28/01/17 10:04:53	81,0 dB	0h03m59	SEL 104,8 dB
-------	----------	-------------------	---------	---------	--------------

Arquivo	280117 10h04 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	28/01/17 10:04:53					
Fim	28/01/17 10:08:52					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	84,9	80,7	91,6	44,6	96,4	00:01:30
Vagões	72,3	69,0	6,2	43,0	81,4	00:01:53
Roda-trilho	74,9	64,4	2,2	70,0	80,0	00:00:21
Global	81,3	81,0	100,0	43,0	96,4	00:03:44

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #12						
Arquivo	28012017 11h23 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	28/01/17 11:23:20					
Fim	28/01/17 11:26:37					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	77,7	71,6	38,6	45,0	86,2	00:00:49
Buzina	82,5	72,1	43,3	72,4	91,0	00:00:18
Vagões	70,0	68,0	16,7	43,0	73,1	00:02:04
Roda-trilho	72,4	57,2	1,4	71,0	74,4	00:00:06
Global	75,8	75,8	100,0	43,0	91,0	00:03:17

#5135	Leq 1s A	28/01/17 11:23:20	75,8 dB	0h03m17	SEL	98,7 dB
-------	----------	-------------------	---------	---------	-----	---------

Legend: Locomotiva(s) (green), Buzina (purple), Vagões (blue), Roda-trilho (cyan)

Arquivo	280117 11h23 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	28/01/17 11:23:20					
Fim	28/01/17 11:26:37					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	77,7	71,6	68,0	45,0	86,2	00:00:49
Vagões	70,0	68,0	29,5	43,0	73,1	00:02:04
Roda-trilho	72,4	57,2	2,5	71,0	74,4	00:00:06
Global	73,7	73,3	100,0	43,0	86,2	00:02:59

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #13						
Arquivo	28012017 15h42 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	28/01/17 15:42:54					
Fim	28/01/17 15:47:12					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	75,8	71,2	52,6	42,7	88,1	00:01:29
Buzina	67,3	57,0	2,0	51,9	78,5	00:00:24
Vagões	72,6	69,8	38,4	43,1	75,5	00:02:15
Roda-trilho	76,5	62,4	7,0	75,7	77,3	00:00:10
Global	73,9	73,9	100,0	42,7	88,1	00:04:18

#5135	Leq 1s A	28/01/17 15:42:54	73,9dB	0h04m18	SEL	98,1dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	--------

Locomotiva(s)	Buzina	Vagões	Roda-trilho
---------------	--------	--------	-------------

Arquivo	280117 15h42 - Níveis de fontes s buzina					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	28/01/17 15:42:54					
Fim	28/01/17 15:47:12					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	75,8	71,2	53,6	42,7	88,1	00:01:29
Vagões	72,6	69,8	39,2	43,1	75,5	00:02:15
Roda-trilho	76,5	62,4	7,2	75,7	77,3	00:00:10
Global	74,3	73,9	100,0	42,7	88,1	00:03:54



NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #15						
Arquivo	10062017 11h28 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 11:30:55					
Fim	10/06/17 11:34:57					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	73,2	67,4	37,8	43,2	84,6	00:01:04
Buzina	50,2	38,9	0,1	45,0	55,1	00:00:18
Vagões	71,3	69,5	62,2	42,3	75,4	00:02:40
Global	71,6	71,6	100,0	42,3	84,6	00:04:02

#5135	Leq 1s A	10/06/17 11:30:55	71,6dB	0h04m02	SEL	95,4dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	--------

— Locomotiva(s) — Buzina — Vagões

Arquivo	10062017 11h28 - Níveis de fontes s buzi...					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 11:30:55					
Fim	10/06/17 11:34:57					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva	73,2	67,4	37,8	43,2	84,6	00:01:04
Vagões	71,3	69,5	62,2	42,3	75,4	00:02:40
Global	71,9	71,6	100,0	42,3	84,6	00:03:44

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #16						
Arquivo	10062017 11h54 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 11:54:25					
Fim	10/06/17 11:58:26					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	80,4	73,1	55,7	43,6	89,0	00:00:45
Buzina	58,0	48,0	0,2	46,5	64,9	00:00:24
Vagões	68,7	64,9	8,4	44,4	75,3	00:01:39
Roda-trilho	76,3	71,2	35,8	74,7	78,6	00:01:13
Global	75,6	75,6	100,0	43,6	89,0	00:04:01

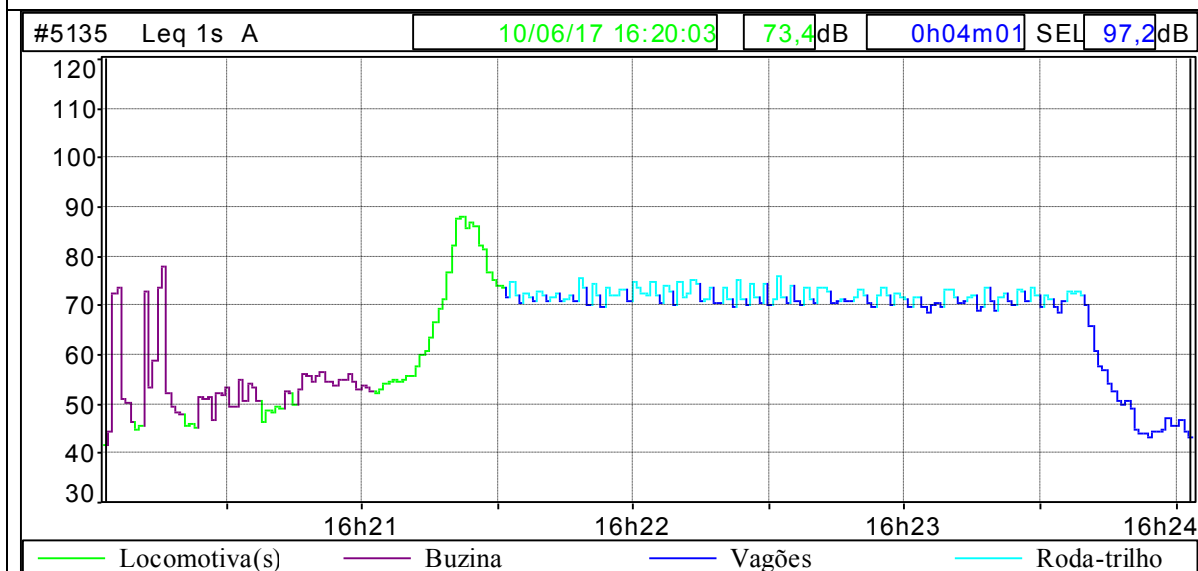
#5135	Leq 1s A	10/06/17 11:54:25	75,6dB	0h04m01	SEL	99,4dB
-------	----------	-------------------	--------	---------	-----	--------

11h55 11h56 11h57 11h58

— Locomotiva(s) — Buzina — Vagões — Roda-trilho

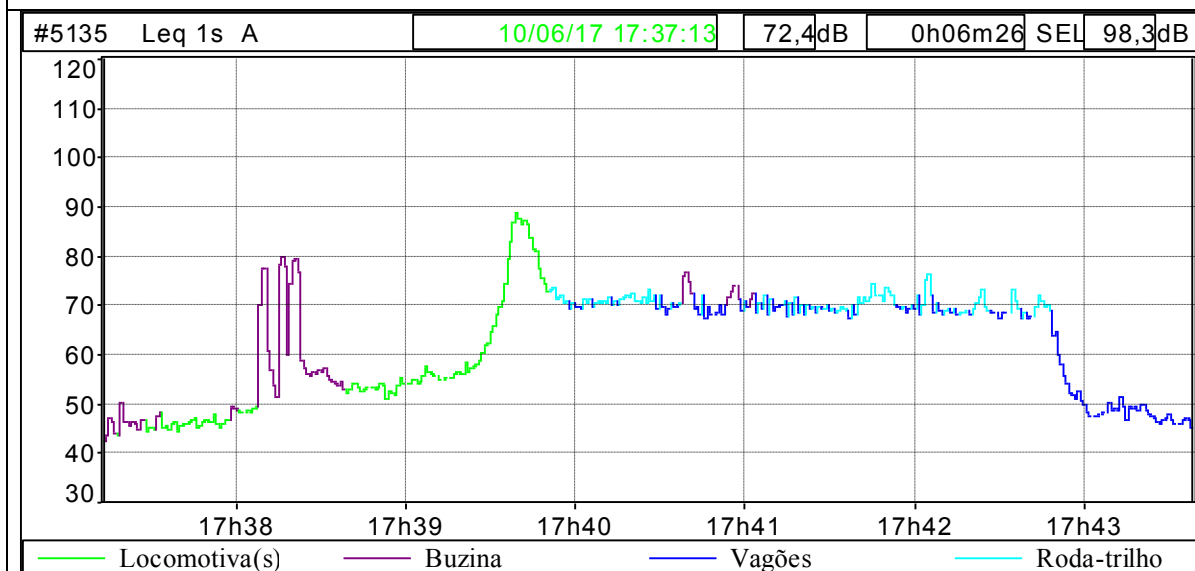
Arquivo	10062017 11h54 - Níveis de fontes s buzi...					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 11:54:25					
Fim	10/06/17 11:58:26					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	80,4	73,1	55,8	43,6	89,0	00:00:45
Vagões	68,7	64,9	8,4	44,4	75,3	00:01:39
Roda-trilho	76,3	71,2	35,8	74,7	78,6	00:01:13
Global	76,1	75,6	100,0	43,6	89,0	00:03:37

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #17						
Arquivo	10062017 16h20 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 16:20:03					
Fim	10/06/17 16:24:03					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	78,7	71,0	58,2	41,4	88,0	00:00:41
Buzina	64,9	58,0	2,9	44,1	77,8	00:00:48
Vagões	68,6	63,4	10,0	43,1	71,6	00:01:11
Roda-trilho	72,8	68,0	28,9	71,0	75,7	00:01:20
Global	73,4	73,4	100,0	41,4	88,0	00:04:00



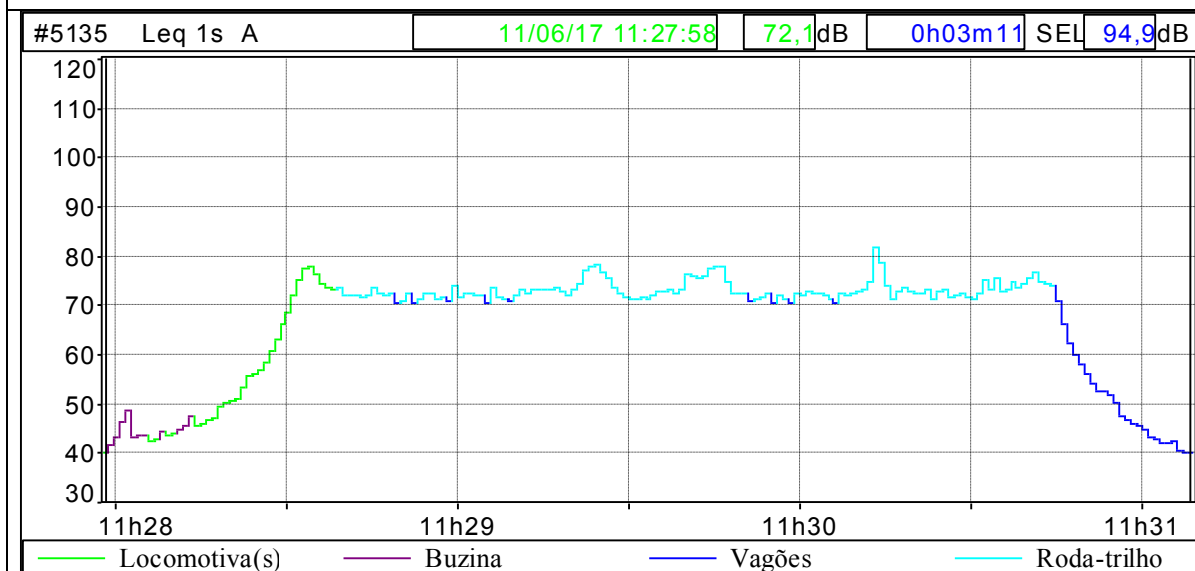
Arquivo	10062017 16h20 - Níveis de fontes s buzi...					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 16:20:03					
Fim	10/06/17 16:24:03					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	78,8	71,0	60,0	44,8	88,0	00:00:40
Vagões	68,6	63,4	10,3	43,1	71,6	00:01:11
Roda-trilho	72,8	68,0	29,8	71,0	75,7	00:01:20
Global	74,2	73,2	100,0	43,1	88,0	00:03:11

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #18						
Arquivo	10062017 17h37 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 17:37:13					
Fim	10/06/17 17:43:39					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	75,8	70,3	61,3	42,4	88,8	00:01:49
Buzina	71,4	63,3	12,3	43,5	79,7	00:01:00
Vagões	66,4	61,3	7,7	44,9	70,0	00:01:58
Roda-trilho	71,0	65,1	18,7	68,3	76,1	00:01:39
Global	72,4	72,4	100,0	42,4	88,8	00:06:26

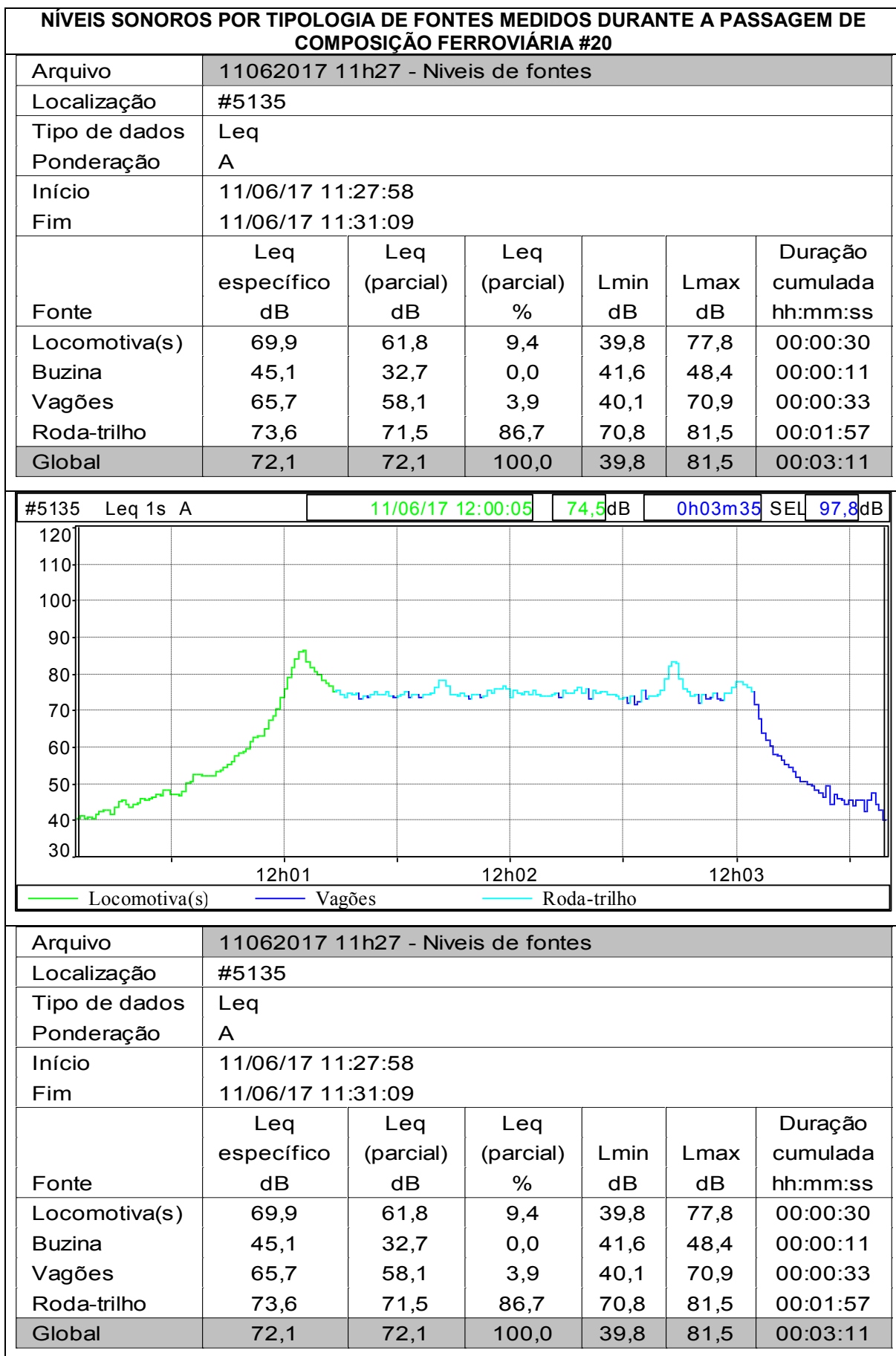


Arquivo	10062017 17h37 - Níveis de fontes s buzi...					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	10/06/17 17:37:13					
Fim	10/06/17 17:43:39					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	75,8	70,3	69,9	42,4	88,8	00:01:49
Vagões	66,4	61,3	8,8	44,9	70,0	00:01:58
Roda-trilho	71,0	65,1	21,3	68,3	76,1	00:01:39
Global	72,6	71,8	100,0	42,4	88,8	00:05:26

NÍVEIS SONOROS POR TIPOLOGIA DE FONTES MEDIDOS DURANTE A PASSAGEM DE COMPOSIÇÃO FERROVIÁRIA #19						
Arquivo	11062017 11h27 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	11/06/17 11:27:58					
Fim	11/06/17 11:31:09					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	69,9	61,8	9,4	39,8	77,8	00:00:30
Buzina	45,1	32,7	0,0	41,6	48,4	00:00:11
Vagões	65,7	58,1	3,9	40,1	70,9	00:00:33
Roda-trilho	73,6	71,5	86,7	70,8	81,5	00:01:57
Global	72,1	72,1	100,0	39,8	81,5	00:03:11



Arquivo	11062017 11h27 - Níveis de fontes s buzi...					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	11/06/17 11:27:58					
Fim	11/06/17 11:31:09					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	69,9	61,8	9,4	39,8	77,8	00:00:30
Vagões	65,7	58,1	3,9	40,1	70,9	00:00:33
Roda-trilho	73,6	71,5	86,7	70,8	81,5	00:01:57
Global	72,4	72,1	100,0	39,8	81,5	00:03:00

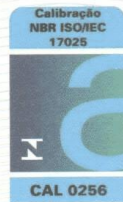


Arquivo	11062017 11h27 - Níveis de fontes					
Localização	#5135					
Tipo de dados	Leq					
Ponderação	A					
Início	11/06/17 11:27:58					
Fim	11/06/17 11:31:09					
Fonte	Leq específico dB	Leq (parcial) dB	Leq (parcial) %	Lmin dB	Lmax dB	Duração cumulada hh:mm:ss
Locomotiva(s)	69,9	61,8	9,4	39,8	77,8	00:00:30
Buzina	45,1	32,7	0,0	41,6	48,4	00:00:11
Vagões	65,7	58,1	3,9	40,1	70,9	00:00:33
Roda-trilho	73,6	71,5	86,7	70,8	81,5	00:01:57
Global	72,1	72,1	100,0	39,8	81,5	00:03:11

**ANEXO 1 – CERTIFICADOS DE CALIBRAÇÃO DO SONÔMETRO E CALIBRADOR
ACÚSTICO UTILIZADOS**

CHROMPACK
Instrumentos Científicos Ltda.

Desde 1996



RBC - Rede Brasileira de Calibração

Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 1 de 8

Dados do Cliente:

Nome: Assessoria Técnica Ambiental
Endereço: Rua Marechal José Bernardino Bormann, 821
Cidade: Curitiba
Estado: PR
CEP: 80730-350

Dados do Instrumento Calibrado:

Nome: Medidor de Nível Sonoro
Marca: 01 dB
Modelo: Solo
N° de Série: 35135
N° de Patrimônio: 0642
N° de Identificação: Não consta
N° de Processo: 27873
Data da Calibração: 05/11/2015

Tipo: I



Procedimento Utilizado:

O procedimento operacional de calibração PRO - MNS - 1000 rev.08

Norma de Referência:

IEC 60651: 2001

Padrões Utilizados:

Nome	N° Serie	N° Certificado	Rastreabilidade	Data da Calibração
Gerador de Funções	MY40022405	RBC-15/0479	RBC	21/07/15
Calibrador Eletro-Acústico	81	DIMCI 1947/2014	INMETRO	04/09/14
Barômetro	097.0912.0802.016	LV24926-15-R1	RBC	17/07/15
Termo-Higrômetro	097.0912.0802.016	LV26261-15-R0	RBC	24/07/15

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256

A CGCRE é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - Cooperação Internacional de Acreditação de Laboratórios. A CGCRE é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da IAC - Cooperação Interamericana de Acreditação. O ajuste ou reparo quando realizado não faz parte do escopo da acreditação do laboratório. Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE que avalia a competência do laboratório e comprova sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). O certificado de calibração poderá ser reproduzido desde que seja legível, na forma integral e sem nenhuma alteração. Os resultados apresentados neste certificado aplicam-se somente ao item calibrado e não se estendem aos instrumentos de mesma marca, modelo ou lote de fabricação. A incerteza expandida de medição declarada (U95.45) foi estimada para um nível de confiança de 95,45%. Este cálculo da incerteza é baseado no fator de abrangência (k) obtido através dos graus de liberdade efetivo (ueff) e tabela t-student.

CGCRE is Signatory of the ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation Mutual Recognition Arrangement. CGCRE is signatory of the IAC - Interamerican Accreditation Cooperation Mutual Recognition Arrangement. The adjustment or repair when performed is not part of the accredited scope by laboratory. This certificate meeting the CGCRE requirements who evaluated the laboratory capacity and verified the traceability to national standards of measure (or to International System of Units SI). The certificate of calibration can be reproduced since be legible, in integral form and without changes. The results presented in this certificate are applied just to item calibrated and not extend to instruments of same brand, model or manufactured lot. The reported expanded uncertainty of measurement (U95.45) was estimated for a confidence level of 95.45%. This uncertainty calculation is based on the coverage factor (k) obtained through the effective degrees of freedom (ueff) and t-student table.

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net





Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 2 de 8

Ponderação em frequência:

Configuração do instrumento sob medição:

Frequência de referência: 1000 Hz

Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB

Parâmetro: dB(A)Slow

Frequência nominal (Hz)	Frequência exata (Hz)	Ponderação A Desvio indicado (dB)	Ponderação C Desvio indicado (dB)	Resposta Linear Desvio indicado (dB)	Tolerância em dB
20	19,95	0,2	0,0	0,1	± 3
25	25,12	0,2	0,1	0,1	± 2
31,5	31,62	0,1	0,1	0,1	± 1,5
40	39,81	0,1	0,1	0,1	± 1,5
50	50,12	0,1	0,1	0,1	± 1,5
63	63,10	0,1	0,1	0,1	± 1,5
80	79,43	0,1	0,1	0,1	± 1,5
100	100,0	0,1	0,1	0,1	± 1
125	125,9	0,0	0,1	0,1	± 1
160	158,5	0,1	0,1	0,1	± 1
200	199,5	0,1	0,0	0,1	± 1
250	251,2	0,1	0,0	0,1	± 1
315	316,2	0,1	0,1	0,1	± 1
400	398,1	0,0	0,1	0,1	± 1
500	501,2	0,0	0,0	0,0	± 1
630	631,0	0,0	0,0	0,0	± 1
800	794,3	0,0	0,0	0,0	± 1
1000	1000	0,0	0,0	0,0	± 1
1250	1259	0,0	-0,1	0,0	± 1
1600	1585	0,0	-0,1	-0,1	± 1
2000	1995	0,1	-0,1	-0,1	± 1
2500	2512	0,0	-0,1	-0,1	± 1
3150	3162	0,0	-0,1	-0,1	± 1
4000	3981	-0,2	-0,2	-0,1	± 1
5000	5012	-0,2	-0,2	-0,1	± 1,5
6300	6310	-0,2	-0,3	-0,1	+ 1,5; -2
8000	7943	-0,5	-0,6	-0,2	+ 1,5; -3
10000	10000	-1,2	-1,2	-0,2	+ 2; -4
12500	12590	-2,5	-2,5	-0,2	+ 3; -6

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256

CHROMPACK
Instrumentos Científicos Ltda.

Desde 1996



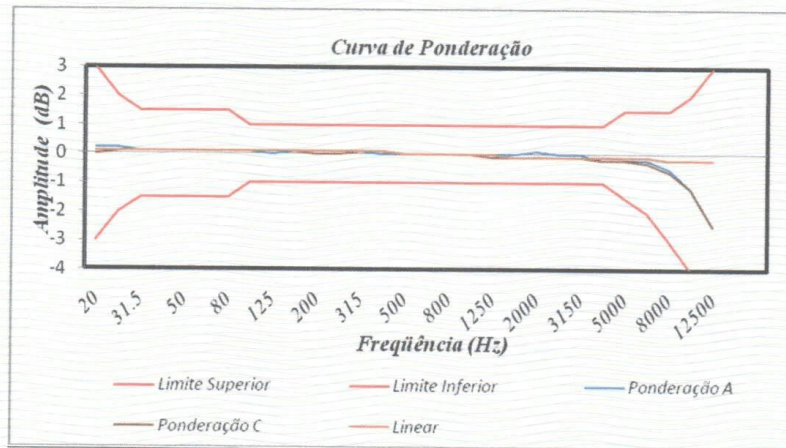
Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 3 de 8

Gráfico das Ponderações em Frequência:



Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 258



Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 4 de 8

Linearidade:

Configuração do instrumento sob medição:

Frequência de referência: 1000 Hz

Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB

Parâmetro medido: dB(A)Slow

Faixa de nível (dB)	Nível esperado (dB)	Desvio indicado (dB)	Tolerância (±dB)
20 dB a 140 dB	130,0	0,0	1,0
20 dB a 140 dB	120,0	0,0	
20 dB a 140 dB	110,0	0,0	
20 dB a 140 dB	100,0	0,0	
20 dB a 140 dB	90,0	0,0	
20 dB a 140 dB	80,0	0,0	
20 dB a 140 dB	70,0	0,0	
20 dB a 140 dB	60,0	0,0	
20 dB a 140 dB	50,0	0,0	
20 dB a 140 dB	40,0	-0,1	
20 dB a 140 dB	30,0	-0,1	

Detector RMS:

Configuração do instrumento sob medição:

Frequência de referência: 2000 Hz

Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB

Parâmetro medido: dB(L) Slow

Sinal	Nível indicado (dB)	Desvio indicado (dB)	Faixa de nível (dB)	Tolerância em dB
Seno (FC=3)	93,9	-0,1	20 dB a 140 dB	± 0,5
Seno (FC=5)	94,0	0,0	20 dB a 140 dB	± 1,0
Seno (FC=10)	94,0	0,0	20 dB a 140 dB	± 1,5
Quadrado (FC=-3)	93,8	-0,2	20 dB a 140 dB	± 0,5
Quadrado (FC=+3)	93,7	-0,3	20 dB a 140 dB	± 0,5
Quadrado (FC=-5)	93,8	-0,2	20 dB a 140 dB	± 1,0
Quadrado (FC=+5)	93,7	-0,3	20 dB a 140 dB	± 1,0
Quadrado (FC=-10)	93,7	-0,3	20 dB a 140 dB	± 1,5
Quadrado (FC=+10)	93,8	-0,2	20 dB a 140 dB	± 1,5

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256



Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 5 de 8

Ponderação Temporal:

Configuração do instrumento sob medição:
Frequência de referência: 2000 Hz
Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB
Duração do trem de tons de teste 500 ms
Parâmetro medido: dB(L) Slow (max)

Faixa de nível (dB)	Nível esperado (dB)	Desvio (dB)	Tolerância em dB
20 dB a 140 dB	121,9	0,0	± 1,0
20 dB a 140 dB	111,9	-0,1	
20 dB a 140 dB	101,9	-0,1	
20 dB a 140 dB	91,9	-0,1	
20 dB a 140 dB	81,9	0,0	
20 dB a 140 dB	71,9	0,0	

Configuração do instrumento sob medição:
Frequência de referência: 2000 Hz
Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB
Duração do trem de tons de teste 200 ms
Parâmetro medido: dB(L) Fast (max)

Faixa de nível (dB)	Nível esperado (dB)	Desvio (dB)	Tolerância em dB
20 dB a 140 dB	125,0	0,0	+1,0 / -1,0
20 dB a 140 dB	115,0	-0,2	
20 dB a 140 dB	105,0	-0,2	
20 dB a 140 dB	95,0	-0,1	
20 dB a 140 dB	85,0	-0,2	
20 dB a 140 dB	75,0	-0,2	

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256

CHROMPACK
Instrumentos Científicos Ltda.

Desde 1996



Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 6 de 8

Ponderação temporal (continuação):

Configuração do instrumento sob medição:
Frequência de referência: 2000 Hz
Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB
Duração do trem de tons de teste 20 ms
Parâmetro medido: dB(L) Impulse (max)

Faixa de nível (dB)	Nível esperado (dB)	Desvio (dB)	Tolerância em dB
20 dB a 140 dB	126,4	-0,1	± 1,5
20 dB a 140 dB	116,4	-0,4	
20 dB a 140 dB	106,4	-0,2	
20 dB a 140 dB	96,4	-0,3	
20 dB a 140 dB	86,4	-0,3	
20 dB a 140 dB	76,4	0,4	

Configuração do instrumento sob medição:
Frequência de referência: 2000 Hz
Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB
Duração do trem de tons de teste 5 ms
Parâmetro medido: dB(L) Impulse (max)

Faixa de nível (dB)	Nível esperado (dB)	Desvio (dB)	Tolerância em dB
20 dB a 140 dB	121,2	-0,2	± 2,0
20 dB a 140 dB	111,2	-0,6	
20 dB a 140 dB	101,2	-0,4	
20 dB a 140 dB	91,2	-0,2	
20 dB a 140 dB	81,2	-0,5	
20 dB a 140 dB	71,2	2,2	

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256



Desde 1996



Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 7 de 8

Ponderação temporal (continuação):

Configuração do instrumento sob medição:
 Frequência de referência: 2000 Hz
 Nível de referência: 94,0 dB

Faixa de nível de referência: 20 dB a 140 dB
 Duração do trem de tons de teste 2 ms
 Parâmetro medido: dB(L) Impulse (max)

Faixa de nível (dB)	Nível esperado (dB)	Desvio (dB)	Tolerância em dB
20 dB a 140 dB	117,4	-0,5	± 2,0
20 dB a 140 dB	107,4	-0,2	
20 dB a 140 dB	97,4	-0,4	
20 dB a 140 dB	87,4	-0,4	
20 dB a 140 dB	77,4	-0,5	
20 dB a 140 dB	67,4	-0,3	

Método de Medição:

Os resultados foram obtidos através da aplicação de sinais elétricos, substituindo o microfone por adaptador com capacitância equivalente, os sinais são especificados pela norma IEC 60651 de modo a satisfazer os testes descritos como ponderação em frequência, linearidade, detector RMS e ponderação temporal.

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 258



Certificado de Calibração

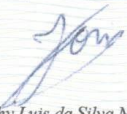

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.287

Página 8 de 8

Observações:

- ☒ Condições ambientais:
Temperatura: 23°C
Umidade relativa média: 54%
Pressão atmosférica: 926mbar
- ☒ A incerteza de medição elétrica não excede a $\pm 0,2$ dB.
- ☒ Certificado Assinado Eletronicamente.
- ☒ Desvio: diferença entre o nível indicado e nível esperado.
- ☒ Fator de abrangência $k=2$.

Calibrado por:	Responsável Técnico pela calibração:
 Téc. Jonhny Luis da Silva Nobre	 Engº Alexandre Falcão da Silva CREA nº 5062014792 Signatário autorizado

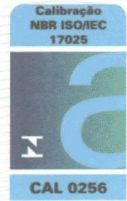
Av. Engº Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256

CHROMPACK
Instrumentos Científicos Ltda.

Desde 1996



RBC - Rede Brasileira de Calibração

Certificado de Calibração

Certificado N° : 73.286

Certificate of Calibration
Página 1 de 2

Dados do Cliente:

Nome: Assessoria Técnica Ambiental
Endereço: Rua Marechal José Bernardino Bormann, 821
Cidade: Curitiba
Estado: PR
CEP: 80730-350

Dados do Instrumento Calibrado:

Nome: Calibrador de Nivel Sonoro
Marca: 01 dB
Modelo: CAL 21
N° de Série: 35113825(2011)
N° de Patrimônio: 781
N° de Identificação: Não Consta
Data da Calibração: 05/11/15
N° de Processo: 27873

Tipo: 1



Características do item:

Nível de pressão sonora nominal:	94	(dB re. 20 µPa)
Frequência nominal:	1000	Hz

Procedimento Utilizado:

O procedimento operacional de calibração PRO - CNS - 1300 rev.09

Norma de Referência:

IEC60942:1997

Padrões Utilizados:

Nome	N° Serie	N° Certificado	Rastreabilidade	Data da Calibração
Contador Universal	MY4006052	RBC-15/0439	RBC	02/07/15
Fonte	119909	DIMCI 2375/2013	INMETRO	11/11/13
Analizador de Audio	7010032	139275-101	RBC	31/07/14
Pistonfone	2570979	DIMCI 0005/2015	INMETRO	07/01/15
Microfone	2338719	DIMCI 2416/2013	INMETRO	21/11/13
Barômetro	097.0912.0802.016	LV24926-15-R1	RBC	17/07/15
Termo-Higrômetro	097.0912.0802.016	LV26261-15-R0	RBC	24/07/15

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256

A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da ILAC - Cooperação Internacional de Acreditação de Laboratórios. A Cgcre é signatária do Acordo de Reconhecimento Mútuo da IAC - Cooperação Interamericana de Acreditação. O ajuste ou reparo quando realizado não faz parte do escopo da acreditação do laboratório. Este certificado atende aos requisitos de acreditação pela CGCRE que avaliou a competência do laboratório e comprovou sua rastreabilidade a padrões nacionais de medida (ou ao Sistema Internacional de Unidades - SI). O certificado de calibração poderá ser reproduzido desde que seja legível, na forma integral e sem nenhuma alteração. Os resultados apresentados neste certificado aplicam-se somente ao item calibrado e não se estendem aos instrumentos de mesma marca, modelo ou lote de fabricação. A incerteza expandida de medição declarada (U95,45) foi estimada para um nível de confiança de 95,45%. Este cálculo da incerteza é baseado no fator de abrangência (k) obtido através dos graus de liberdade efetivo (ueff) e tabela t-student.

Cgcre is Signatory of the ILAC - International Laboratory Accreditation Cooperation Mutual Recognition Arrangement. Cgcre is signatory of the IAC - Interamerican Accreditation Cooperation Mutual Recognition Arrangement. The adjustment or repair when performed is not part of the accreditation scope by laboratory. This certificate meeting the CGCRE requirements who evaluated the laboratory capacity and verified the traceability to national standards of measure (or to International System of Units SI). The certificate of calibration can be reproduced since be legible, in integral form and without changes. The results presented in this certificate are applied just to item calibrated and not extend to instruments of same brand, model or manufactured lot. The reported expanded uncertainty of measurement (U95, 45) was estimated for a confidence level of 95,45%. This uncertainty calculation is based on the coverage factor (k) obtained through the effective degrees of freedom (ueff) and t-student table.

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil
Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net



CHROMPACK
Instrumentos Científicos Ltda.

Desde 1996



Certificado de Calibração

Certificate of Calibration

Certificado N° : 73.286

Página 2 de 2

Resultados Obtidos:

O(s) resultado(s) do nível (eis) sonoro(s) e frequência(s) apresentados a seguir foram obtidos através do método comparativo extraíndo-se a leitura do microfone padrão acoplado a cavidade do calibrador. Inicialmente o nível sonoro é lido em volts e posteriormente convertido em dB, a frequência lida no medidor de frequência digital diretamente e ambos valores são comparados aos parâmetros (tolerâncias) da norma IEC 60942 de acordo com sua classe de fabricação.

Dados Obtidos

ANTES DO AJUSTE / REPARO					
Nível Sonoro Médio em dB	k	U _{95,45} (dB)	Frequência Média em Hz	k	U _{95,45} (Hz)
93,94	2,09	0,14	1002,5	2,09	2,0

DEPOIS DO AJUSTE / REPARO					
Nível Sonoro Médio em dB	k	U _{95,45} (dB)	Frequência Média em Hz	k	U _{95,45} (Hz)
94,00	2,09	0,14	1002,5	2,09	2,0

Especificações da norma IEC 60942: Nível de Pressão Sonora para classe 2: $\pm 0,30$ dB / Frequência: $\pm 2,0$ %

Legendas:

k – Fator de abrangência

U_{95,45} – Incerteza da Medição expandida para uma probabilidade de abrangência de 95,45%

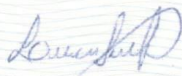

dB – Decibels

Hz – Hertz

** - Ajuste / Reparo não necessário ou leitura(s) indisponível (eis)

Observações:

- ☒ Condições ambientais: Temperatura: 23 °C - Umidade relativa: 50 % - Pressão atmosférica: 928 mbar
- ☒ Este calibrador de nível de pressão sonora encontra-se em acordo com a norma IEC 60942: 1997
- ☒ Certificado Assinado Eletronicamente.

Calibrado por:	Responsável Técnico pela calibração:
 Auxiliar Téc. Lucas Silva	 Eng° Alexandre Falcão da Silva CREA n° 5062014792 Signatário autorizado

Av. Eng° Saraiva de Oliveira, 465 - 05741-200 - Jd. Taboão - São Paulo - SP - Brasil

Fone: 55 11 3384-9320 - www.chrompack.net

LABORATÓRIO DE CALIBRAÇÃO ACREDITADO PELA CGCRE DE ACORDO COM A ABNT NBR ISO/IEC 17025 SOB O NÚMERO 256